



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

El futur de la navegació aèria mundial. Reducció de les emissions com a objectiu principal

Memòria del Treball Fi de Grau

en

Gestió Aeronàutica

realitzat per

Guillem Batalla Rubio

i dirigit per

Enrique Reguilón Oter

Escola d'Enginyeria

Sabadell, Juny de 2020

[El/La] sotasignat, **Enrique Reguilón Oter**,
professor[/a] de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria
ha estat realitzat sota la seva direcció per

Guillem Batalla Rubio

I per a que consti firma la present.
Sabadell, **Juny** de **2020**

Signat:

FULL DE RESUM – TREBALL FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del Treball Fi de Grau: El futur de la navegació aèria mundial. Reducció de les emissions com a objectiu principal.	
Autor[a]: GUILLEM BATALLA RUBIO	Data: Juny de 2020
Tutor[a]/s[es]: ENRIQUE REGUILÓN OTER	
Titulació: Gestió Aeronàutica	
Paraules clau (mínim 3) <ul style="list-style-type: none">• <u>Català</u>: <i>Futur, Prediccions, Aviació, Contaminació, Emissions, Medi ambient, Navegació, Objectius, Eficiència, Combustible, Rodatge</i>• <u>Castellà</u>: <i>Futuro, Predicciones, Aviación, Contaminación, Emisiones, Medio ambiente, Navegación, Objetivos, Eficiencia, Combustible, Rodaje</i>• <u>Anglès</u>: <i>Future, Predictions, Aviation, Contamination, Pollution, Environment, Navigation, Goals, Efficiency, Fuel, Taxiing</i>	
Resum del Treball Fi de Grau (extensió màxima 100 paraules) <ul style="list-style-type: none">• <u>Català</u>: Aquest treball fa un anàlisi de la situació actual i predicció futura respecte a les emissions contaminants que genera la navegació aèria i l'aviació en general. També presenta i examina les diferents tendències pel que fa a tecnologia i tècniques de navegació aèria existents i futures amb l'objectiu de reduir les emissions en aquest sector. Concretament es centra en el procés de rodatge de l'aeronau, ja que és un procés que consumeix molt combustible i contamina. Es tracta d'un procés del qual és més senzill actuar i d'obtenir resultats satisfactoris respecte d'altres. Finalment, es proposa una idea per a una alternativa al procés de rodatge tradicional.• <u>Castellà</u>: Este trabajo hace un análisis de la situación actual i predicción futura respecto a las emisiones contaminantes que genera la navegación aérea i la aviación en general. También presenta i examina las distintas tendencias en lo que respecta a tecnología i técnicas de navegación aérea existentes i futuras con el objetivo de reducir las emisiones en este sector. Concretamente se centra en el proceso de rodaje de la aeronave, ya que es un proceso que consume mucho combustible i contamina. Se trata de un proceso del cual es más sencillo actuar i obtener resultados satisfactorios respecto a otros. Finalmente, se propone una idea para una alternativa al proceso de rodaje tradicional.• <u>Anglès</u>: This work makes an analysis of the current situation and future predictions regarding pollutant emissions generated by air navigation and aviation in general. It also presents and examines the various actual and future trends for air navigation technology and techniques with the goal to reduce emissions in this sector. Specifically, it focuses on the process of taxiing the aircraft, as it is a process that consumes a lot of fuel and pollutes. It is a process from which it is easier to act and obtain satisfactory results than others. Finally, an idea is proposed for an alternative to the traditional taxiing process.	

Taula de continguts

	Pàg.
0. Introducció	5 - 8
1. Situació actual o predicció futura respecte a les emissions contaminants que genera la navegació aèria i l'aviació en general	9 - 22
1.1. Anàlisi de l'actualitat i tendències pel que fa a la ciència i tecnologia en la navegació aèria existents per a reduir les emissions contaminants	23 - 30
1.2. Anàlisi de l'actualitat i tendències pel que fa a les tècniques/operacions de navegació aèria existents per a reduir les emissions contaminants	31 - 41
2. Visió i programes de futur a mitjà i llarg termini per afrontar el problema mediambiental i climàtic	42 - 63
Pla Mundial de navegació aèria 2019-2033	42 - 48
GFAAF 2050 Vision for Sustainable Aviation Fuels	49 - 50
CORSIA	51 - 52
Plataforma d'innovació d'aeronaus elèctriques i híbrides (E-HAPI)	53 - 56
Single European Sky – European ATM Master Plan (SESAR)	57 - 60
EU Emissions Trading System (EU ETS)	60 - 61
Airbus (E-Fan X i City Airbus)	62 - 63
3. On i com es pot actuar per a reduir les emissions en la navegació aèria. Procés de taxiing	64 - 86
3.1. Context i dimensió del problema	64 - 69
3.2. Alternatives existents al procés de taxiing	69 - 72
3.3. Situació actual del sector aeri (COVID-19)	72 - 78
3.4. Alternativa al taxiing amb algun matís de funcionament	79 - 86
4. Conclusions finals	87 - 88
Glossari	89 - 90
Referències bibliogràfiques	91 - 94
Llistat de figures	95 - 98

Introducció

Context:

En els últims anys i sobretot en l'actualitat, el focus d'atenció en el món del transport s'ha centrat en la contaminació que provoca danys en el medi ambient i canvi climàtic, hem de tenir en compte que les emissions de CO₂ procedents del transport representen en torn al 25% del total d'emissions del planeta^{*1}. Per tant, actualment ens preocupa de quina manera afecten i incideixen els vehicles que utilitzem per transportar-nos per el planeta, en termes de contaminació de qualsevol tipus. Aquest recent increment de la preocupació es pot explicar per diversos motius, un d'ells és el futur, no molt llunyà, crític i sense retorn que auguren moltes institucions i organitzacions destinades a l'estudi del medi ambient i la climatologia. [1]

L'aviació té més d'un tipus de contaminació, com l'acústica (soroll) o la que a tots i totes ens ve al cap, la mediambiental i atmosfèrica. En aquesta memòria ens centrarem en la contaminació mediambiental i atmosfèrica que prové de la aviació. La combustió de querosè en els reactors de les aeronaus produeix principalment CO₂ (diòxid de carboni) i vapor d'aigua, i en menor mesura, gasos com òxids de nitrogen (NO_x) i les conegudes partícules en suspensió. Per tant, quan parlem de contaminació aeronàutica estem parlant principalment de gasos d'efecte hivernacle com el CO₂ i el vapor d'aigua, aquest últim és el responsable de la creació de les esteles de condensació.

El CO₂ té un cicle de vida llarg que pot perdurar en l'aire durant 100 anys. Aquest gas es mescla de manera homogènia en la zona de l'atmosfera inferior i allà és on s'acumula, contribuint evidentment a l'efecte hivernacle. La capa més inferior de l'atmosfera és la troposfera, aquesta capa s'eleva com a màxim fins als 15 km, depenent del punt del planeta. Els avions rarament superen els 12,5 km d'altitud, uns 41.000 ft (peus). Per tant, és possible que alguns vols transoceànics estiguin a la frontera entre la troposfera i l'estratosfera. [2]

El vapor d'aigua pot condensar-se i formar les esteles de condensació que tots hem vist algun cop. S'originen per darrere dels escapament de les turbines i els vèrtexs de les ales d'alguns jets, formant cirrus, un tipus de núvol compost de cristalls de gel. Aquestes esteles es produeixen en escenaris en els que hi ha una pressió molt baixa a gran altitud. Tot i que també es poden donar en avions supersònics a baixa altitud. Les esteles visibles poden durar com a molt algunes hores.

Les esteles poden afectar a la formació de núvols com a un forçant radioactiu, a més segons varis estudis, s'ha trobat que són una font més d'escalfament global. Tot i que això últim està poc estès,

^{*1} Dades obtingudes del *Global CO₂ emissions by sector*, 2017. IEA (International Energy Agency)

donat que no se sap fins a quin punt afecten en comparació a d'altres fonts d'efectes hivernacle com el CO₂ o els NO_x. De fet, en la majoria d'informes mediambientals aeronàutics es fa molt difícil veure dades referents al impacte que poden tenir aquestes esteles de condensació. [3]



Imatge 1. Aeronau en vol produint una estela de condensació

L'òxid de nitrogen (NO_x) es produeix en la combustió a altes temperatures. És el tipus de contaminant emès també per motors dièsel del que tant se n'ha parlat en els últims anys.

Són degradats per reaccions fotoquímiques al ser emesos, consumeixen metà (CH₄) i produeixen ozó (O₃). L'ozó és un altre gas d'efecte hivernacle que pel fet de tenir un cicle de vida curt no se sol comparar com a un contaminant equivalent al CO₂. L'òxid de nitrogen es considera el tercer gas més contribuent en l'escalfament global (per darrere del CO₂ i el metà).

Els òxids de nitrogen són compostos tòxics, l'exposició prolongada a aquest tipus de gasos pot provocar problemes greus de salut.

Segons diferents estudis realitzats per multitud d'institucions com la IATA_{G1}, OACI_{G2}, ICCT_{G3} entre d'altres, l'aviació comercial representa aproximadament un 2% del total d'emissions de CO₂ en el planeta^{*2}. I en torn al 12-13% del global d'emissions per part del transport en general.

En una primer impressió no semblen percentatges molt elevats, tot i això hem de tenir en compte que l'increment que ha seguit i el que seguirà és preocupant. La OACI diu que hauré triplacat el volum actual d'emissions de CO₂ per part de l'aviació l'any 2050, si la tendència segueix igual. A més, s'ha d'esmentar que no és el mateix un 2% de fa 40 anys que un 2% en l'actualitat on la contaminació a tots els nivells i sectors ha augmentat. [4] [5] [6]

Davant d'aquesta situació i les corresponents prediccions, institucions com la UN (*United Nations*) manifesten que s'ha de actuar per reduir els efectes del canvi climàtic abans d'arribar al 2030 perquè no sigui massa tard i la situació ja sigui del tot irreversible. [7]

^{*2} Dades recopilades i comparades entre diferents publicacions de la IATA, OACI i ICCT.

Tornant al escenari aeri, és evident que és necessari evolucionar en noves maneres de fer de l'aviació per poder fer front a les expectatives negatives que ara com ara es tenen. Actualment ja existeixen algunes tècniques i tecnologies que permeten reduir emissions en la navegació aèria que al llarg d'aquesta memòria anirem presentant, malauradament però, no sempre es duen a terme, ja que habitualment acaba adquirint més valor i importància l'eficiència a nivell de costos i l'increment de la capacitat, encara que per això no es pugui ser tot el correcte i respectuós que es podria amb el medi ambient i la contaminació.

Com a conseqüència d'aquesta situació he considerat adequat estudiar els moments en que una aeronau està consumint combustible i per tant contaminant de manera fins i tot innecessària. En aquesta part més pròpia, realitzaré una investigació a fons sobre els temps de *taxiing*_{G4} i veuré de quina manera i a través de quines tècniques i/o tecnologies es pot actuar per reduir les emissions en aquest procés, que sobretot en pics de demanda, generen autèntiques situacions ineficients com aquestes:



Imatges 2 i 3. Cues en el taxiing d'un aeroport

L'elecció de centrar-me en els temps de *taxiing* s'explica perquè el temps en que una aeronau està en operacions de terra, és a dir, movent-se per l'aeroport o en estàtic amb els motors encesos, representen la font més gran d'emissions en un cicle estàndard d'enlairament i aterratge. És a dir, un avió acaba emeten més gasos a l'atmosfera pel temps que està anant cap a la pista i posteriorment esperant el seu torn per enlairar-se que no pas en el curta estona d'enlairar-se, tot i que en aquest últim procés posi els motors a nivells molt més elevats de potència. Això s'explica bàsicament per la poca eficiència dels motors a baixa potència i pel temps en que els motors estan encesos respecte als pocs segons que dura un enlairament. Mentre que per a un enlairament la configuració de potència dels motors utilitzada sol

ser en torn al gairebé 100%, durant un *taxiing* és de només un 7% aproximadament^{*3}.

Hem de tenir en compte que, per exemple, una aeronau tan habitual com l'Airbus A320 pot arribar a passar fins a 3 hores al dia fent *taxiing*^{*4}. Això es tradueix en un consum aproximat d'uns 400 Kg de combustible, que equivaldria al combustible cremat per un A320 per fer una mica més de 100 Km a velocitat de creuer^{*5}. [8] [9]

Objectius:

- Realitzar un anàlisi de la situació actual i predicció futura respecte a les emissions contaminants que genera la navegació aèria i l'aviació en general en el planeta.
- Presentar i examinar les diferents visions i programes/tècniques de futur a mitjà i llarg termini, que les institucions/organitzacions aeronàutiques proposen per afrontar el problema mediambiental i climàtic.
- Centrar-me en el procés concret de *taxiing* i proposar alguna idea pel que fa a tècniques i tecnologies de navegació aèria que permetin aconseguir reduir les emissions contaminants en aquest procés.

Motivacions:

Amb la realització d'aquest treball busco no només culminar una etapa com a estudiant sinó que també tinc la possibilitat d'investigar a fons i veure quina és la situació real i el futur que ens espera pel que fa a la navegació aèria. Tot centrant-me en un dels temes que més inquietuds i interès em generen en l'actualitat, el medi ambient i la contaminació. Com tots i totes sabem, la situació pel que fa a la cura del nostre planeta no és la idònia, de fet, requereix una actuació ràpida i significativa que canviï l'actual tendència.

Evidentment, no tots tenim a les nostres mans els mateixos poders, competències o capacitats per fer front aquest problema, malgrat això, tots podem ajudar d'una manera o altre. Una de les meves és interessar-me a nivells més alts, aprendre i desenvolupar aquests coneixements per després poder-los compartir amb d'altres persones.

^{*3} Dades proporcionades per la OACI.

^{*4} Dades aproximades calculades en base als valors que la OACI proposa: 26 min de *taxiing* / vol. Sabent que hi ha aeronaus que poden arribar a realitzar fins a 7 vols diaris.

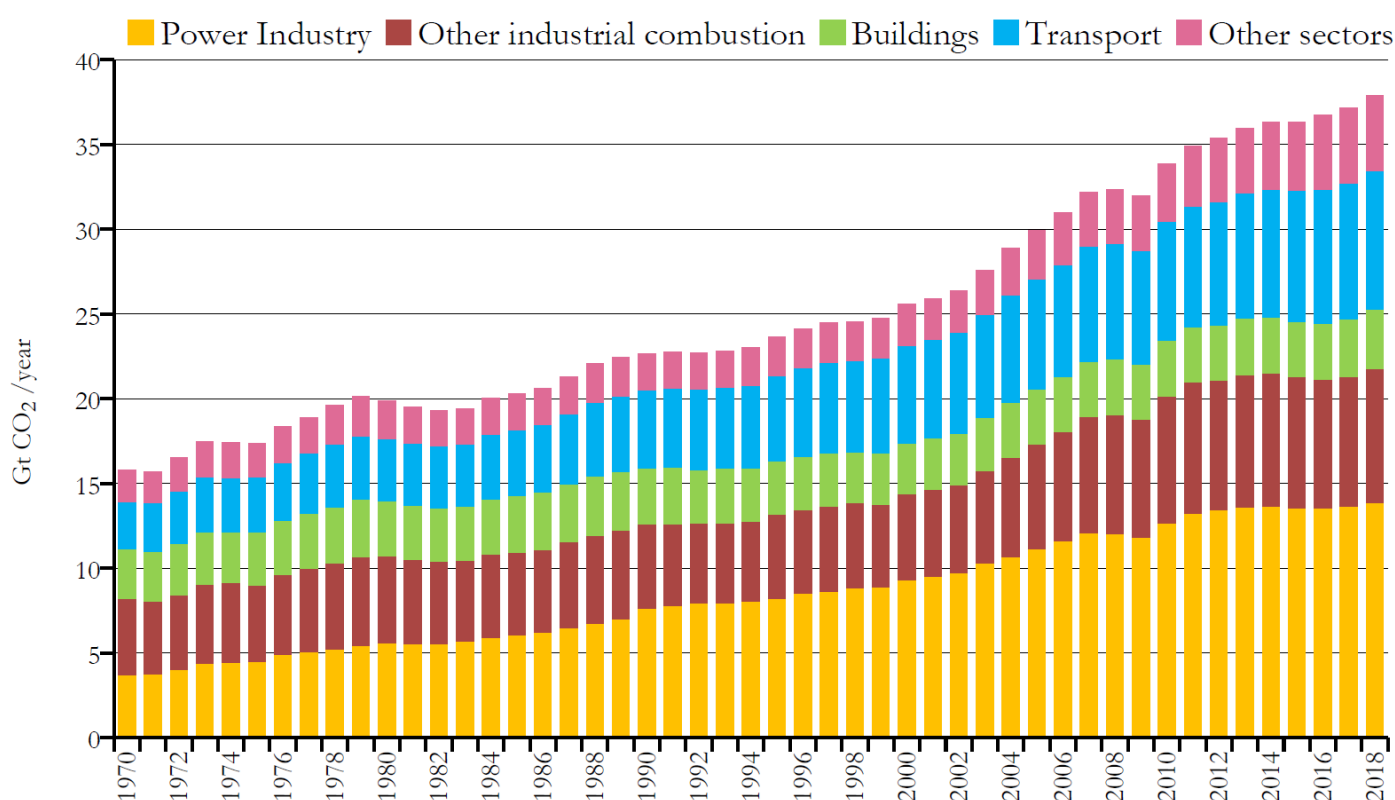
^{*5} El consum aproximat d'un A320 és d'uns 3 Kg/km de combustible.

1. Situació actual o predicció futura respecte a les emissions contaminants que genera la navegació aèria i l'aviació en general.

Abans de començar de dret amb l'aviació hem d'entendre quina és la situació pel que fa a les emissions globals en el planeta. Ens centrarem sobretot en el CO₂, ja que és el gas produït per la humanitat que més contribueix als efectes del tipus hivernacle. Per exemple a Estats Units representa el 81% del global de les emissions de gas d'efecte hivernacle^{*6}. [10]

- European Comission JRC. Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries – 2019[11]

Les emissions mundials fòssils de CO₂ han estat de 37,9 Gt (Gigatonnes) al final de l'any 2018, un 1,9% més que l'any anterior.

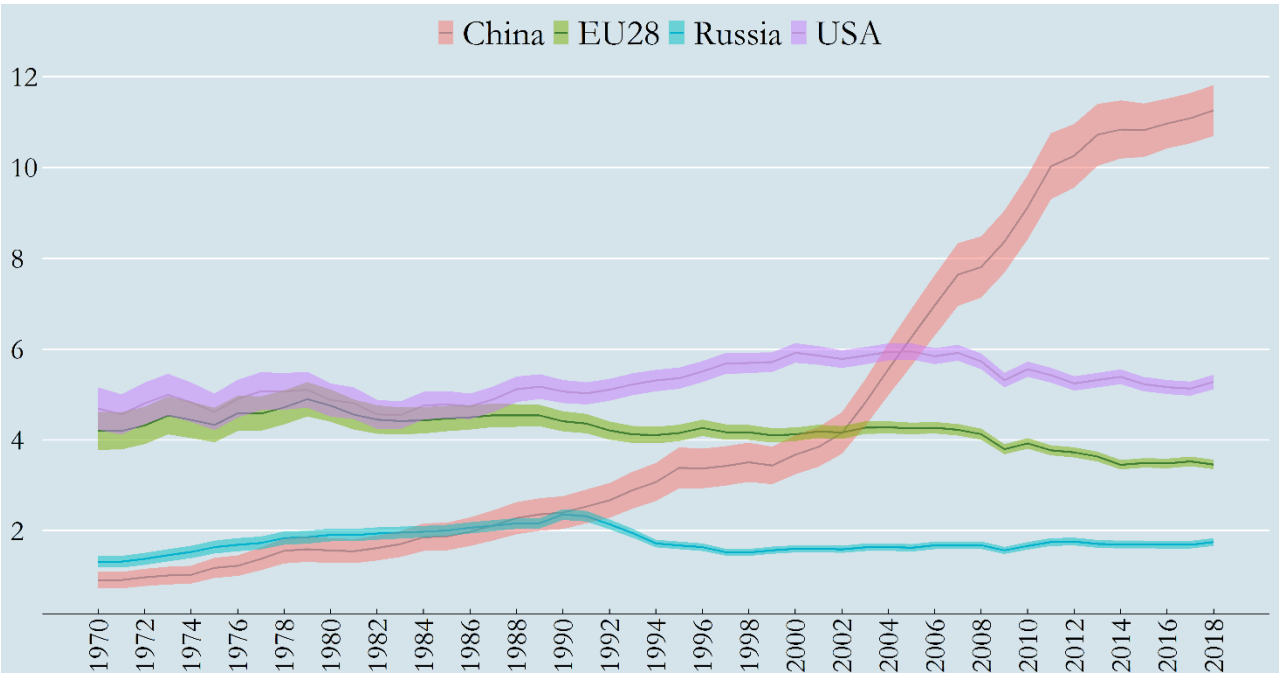


Gràfic 1. Evolució de les emissions de CO₂ per sectors en Gigatonnes (Gt)

Com podem apreciar, el sector del transport que ens pertoca analitzar en aquesta memòria té un creixement força constant, mentre que per exemple el sector de l'energia fins al moment les dades són més optimistes amb un cert estancament de les emissions gràcies al creixent ús de formes de producció d'energia renovable com la solar o la eòlica.

^{*6} Dades extretes de la EPA (2018), United States Environmental Protection Agency

El següent gràfic lineal mostra l'evolució del total d'emissions fòssils de CO2 classificada en els països/regions que més emissions generen.



Gràfic 2. Evolució de les emissions de CO2 per països en Gigatonnes (Gt)

Top emitting countries	Global share	Change between 2017 and 2018	Average annual % change since 2015
China	29.7%	1.5%	1.3%
United States	13.9%	2.9%	0.3%
EU28	9.1%	-1.9%	-0.3%
India	6.9%	7.2%	4.7%
Russia	4.6%	3.6%	1.1%
Japan	3.2%	-1.7%	-0.8%
Iran	1.9%	4.8%	5.3%
South Korea	1.8%	2.9%	2.9%
Saudi Arabia	1.6%	-1.1%	0.9%
Canada	1.6%	-0.1%	0.3%
Indonesia	1.5%	4.8%	4.4%
Brazil	1.3%	-1.3%	-1.8%
Mexico	1.3%	-2.3%	0.6%
South Africa	1.3%	1.0%	0.0%
Turkey	1.1%	0.6%	4.6%
Australia	1.1%	0.9%	1.1%
International shipping	1.8%	2.0%	2.2%
International aviation	1.5%	1.0%	2.0%

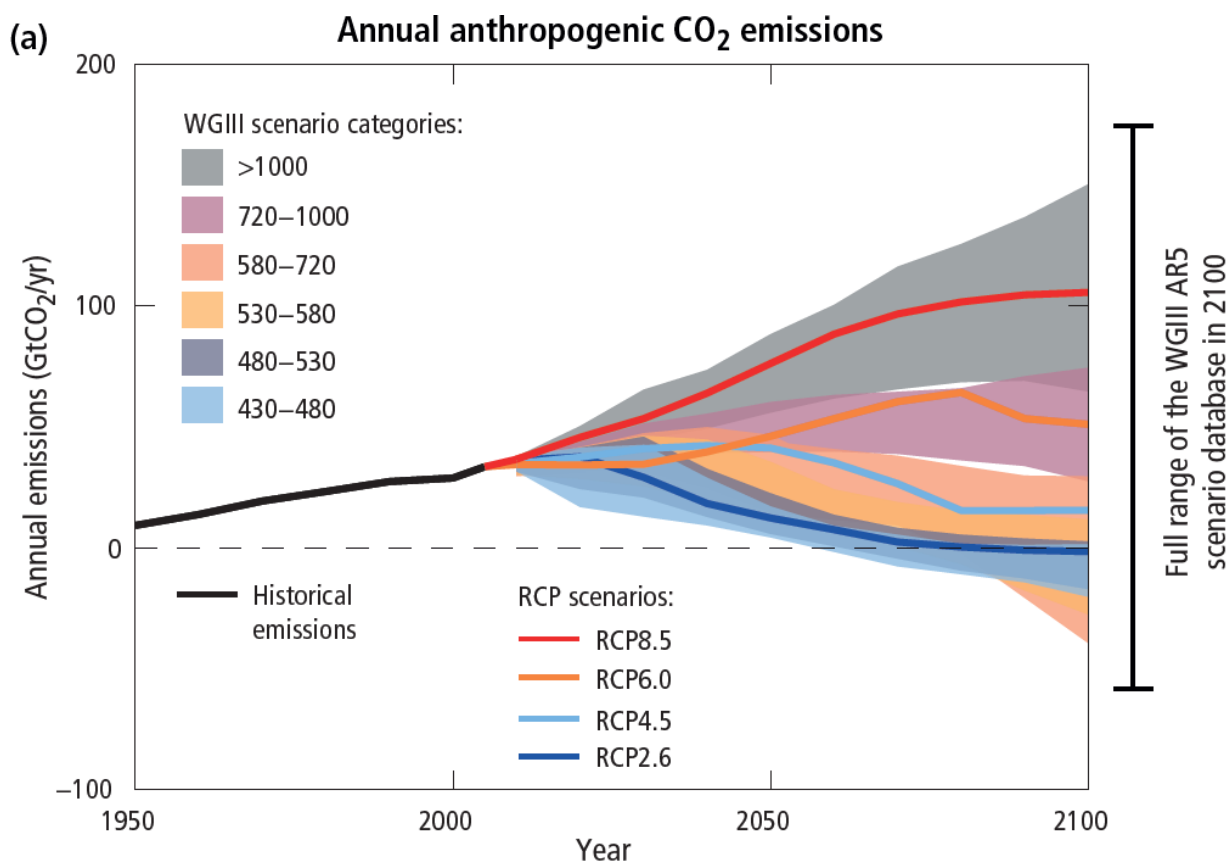
Taula 1. Distribució de les emissions CO2 per país o grup d'Estats

Només tenint en compte dos països com són Xina i els Estats Units obtenim més del 40% del total de les emissions fòssils de CO2 de tot el planeta.

A destacar la discreta reducció en les emissions que els 28 estats membres de la Unió Europea (EU28) estan aconseguint en els últims anys.

· IPCC_{G5}. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014[12]

A continuació es mostra la predicció de l'evolució de les emissions de CO₂ subjecte a diferents escenaris que explicarem tot seguit.



Gràfic 3. Predicció futura de les emissions de CO₂ segons escenari en Gigatonnes (Gt)

El cinquè Informe IPCC contempla un total de quatre escenaris RCP (Representative Concentration Pathway) o Trajectòries de Concentració Representatives: [13]

	FR	Tendència del FR	[CO ₂] en 2100
RCP2.6	2,6 W/m ²	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m ²	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m ²	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m ²	creciente	936 ppm

Taula 2. Escenaris RCP sobre emissions CO2

FR: Forçament Radioactiu, és la diferència entre la isolació solar (energía que aporta la llum solar) absorbida pel planeta Terra i l'energia irradiada que genera la Terra de tornada cap a l'espai. Un Forçament Radioactiu positiu significa que la Terra rep més energía solar que la que irradia a l'espai. Els gasos d'efecte hivernacle com el CO2 fan una capa a l'atmosfera que com ve diu la paraula actuen d'hivernacle per al planeta, no deixant sortir tota l'energia irradiada que hauria, d'aquí l'escalfament global. Es mesura en W/m² (Watts per metre quadrat).

ppm: Parts per mil·lió. És una unitat de mesura amb la que es medeix la concentració. En contaminació de l'aire es refereix a parts de vapor o gas per cada mil·lió de parts d'aire contaminat.

En l'actualitat s'ha batut un rècord en superar la xifra de 418 ppm de concentració de CO2 en l'atmosfera (1 de juny de 2020, Hawaii), una cosa inèdita en la història del planeta. [14]

· ICCT Working Paper 2019-16, CO2 Emissions from commercial aviation, 2018[15]

Aquest document publicat al setembre del 2019 pel Consell Internacional pel Transport Net (ICCT), fa un anàlisi minuciós de les emissions de CO2 provinents de l'aviació comercial de tot el planeta.

→ Extracte:

Introducció:

A partir de la utilització de dades històriques de OAG_{G6}, de governs nacionals, agències internacionals i el modelatge a través de software, aquest document detalla el total d'emissions de CO2 emeses per l'aviació comercial de tot el món, classificat també segons el país i tipus d'aeronau.

Entenem com aviació comercial a la totalitat d'operacions comercials aèries, ja sigui de transport de passatgers o bé de mercaderies.

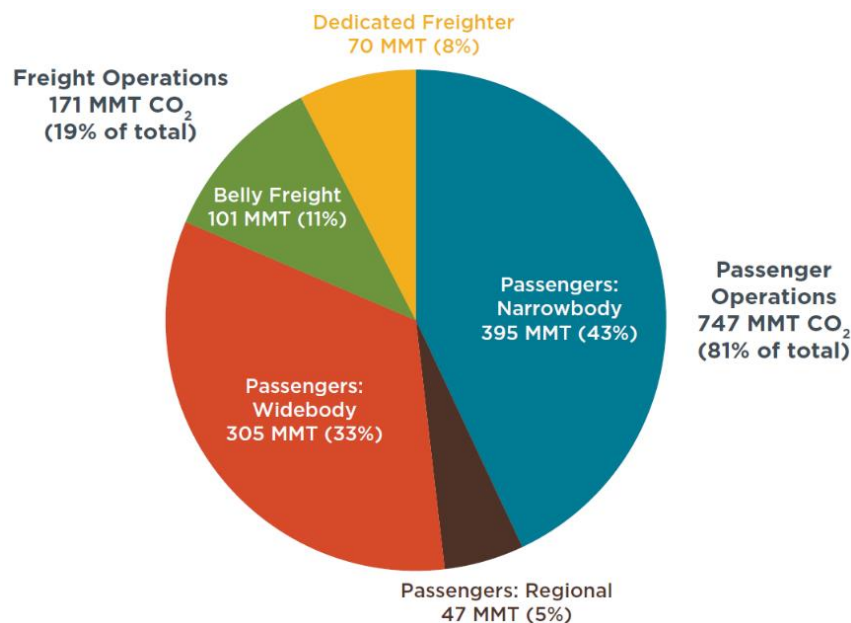
D'un total de 39 milions de vols, l'any 2018 es van emetre uns 918 milions de tones de CO2 a l'atmosfera. Això significa un 32% més que fa 5 anys. Aquesta taxa de creixement és tant elevada que ha arribat a ser un 70% més alta del que la OACI havia previst.

Els Estats Units, amb el 17% de les emissions de CO2 pel que fa a vols de passatgers, és el país amb la contribució més elevada en aquest sentit.

El transport de passatger en aeronaus del tipus *Narrowbody* o d'un sol passadís correspon al 43% del total d'emissions de CO2.

Dimensió:

Si el sector de l'aviació es tractés com a un país, estariem parlant del sisè Estat del món amb més emissions de CO2: 918 Milions de Tones Mètriques (MMT).



Gràfic 4. Distribució de les emissions CO2 en el sector aeri comercial (2018)

El 81% de les emissions per part de l'aviació comercial corresponen a vols que transporten passatgers. El tipus de vol més utilitzat és el d'aeronau d'un sol passadís o *Narrowbody* (Fuselatge estret), més de la meitat de vols de passatgers arreu del món són d'aquest tipus.

Aircraft Class	Departures		Avg Distance [km]	CO ₂	
	Million	% of total		[MMT]	% of total
Regional	9.77	26	632	47	6
Narrowbody	25.1	66	1,330	395	53
Widebody	3.10	8	4,700	305	41
Total	38	100	1,425	747	100

Taula 3. Distribució de les emissions CO2 per tipus d'aeronau

Es defineix com a aeronaus regionals les de tipus turboprops^{G7} i jets regionals.

Tot i que les aeronaus més grans veiem que contaminen força més que les petites, en la totalitat, acabarem tenint millors consums/per passatger en aeronaus grans que en el cas de les aeronaus petites que tenen una capacitat molt menor.

Cal destacar que dues tercers parts de tots els vols l'any 2018 van ser de caràcter domèstic, que corresponen al 40% del total d'emissions de CO2 d'operacions de passatgers.

La zona de Àsia/Pacífic és el grup de rutes intracomunitàries que representa un percentatge més elevat d'emissions, concretament el 25% del total d'emissions de CO2 d'operacions de passatgers. Aquest grup inclou països tant poblats com la Xina, Índia, Japó i Austràlia.

Rank	Route Group (Not directional specific)	CO ₂ [MMT]	% of Total CO ₂	RPKs (billions)	% of Total RPKs	Carbon Intensity [g CO ₂ /RPK]
1	Intra-Asia/Pacific	186	25	2,173	26	86
2	Intra-North America	136	18	1,425	17	96
3	Intra-Europe	103	14	1,189	14	86
4	Europe ↔ North America	50.0	6.7	597	7.0	84
5	Asia/Pacific ↔ Europe	43.4	5.8	523	6.1	83
6	Asia/Pacific ↔ North America	38.7	5.2	459	5.4	84
7	Asia/Pacific ↔ Middle East	33.5	4.5	388	4.6	86
8	Intra-Latin America/Caribbean	29.1	3.9	303	3.6	96
9	Europe ↔ Middle East	25.1	3.4	291	3.4	86
10	Latin America/Caribbean ↔ North America	23.4	3.1	290	3.4	81

Taula 4. Distribució de les emissions CO2 per grups de rutes aèries

El país individual que més contribueix a la contaminació en aquest cas són els Estats Units, amb el 17% de les emissions de CO2 en vols de passatgers. Això tenint en compte tant sortides com arribades en el país. Pel que fa a només sortides representa fins a un 24%.

Conclusió:

La conclusió d'aquest informe és que tenim molta feina per endavant, i que documents com aquests ens són de gran ajuda per a poder tenir una idea més exacte de la dimensió del problema, i poder definir i crear programes i objectius per part de les institucions per aconseguir millorar la situació en aquest sentit.

- ICAO A40-WP/54, Global Environmental Trends – Present and Future aircraft emissions[16]

Aquest informe publicat el 5 de juliol del 2019 pel comitè executiu de la Organització d'Aviació Civil Internacional és un document actualitzat que recull les tendències mediambientals globals relacionades amb l'aviació civil. Es basa en la seva totalitat en el: *2019 Environmental Report Aviation and Environment* (ICAO). [17]

La informació recollida en aquest informe té la intenció de servir com a base d'informació única i sòlida que ajudi al desenvolupament de la presa de decisions sobre qüestions mediambientals.

Respon al objectiu estratègic de la OACI: *Environmental Protection*.

➔ Extracte:

Introducció:

El creixement de l'aviació és positiu pel futur econòmic i de relacions comercials i culturals entre nacions, tot i que també té connotacions negatives. Es preveu que cap a l'any 2045 el trànsit aeri internacional es multipliqui per més de 3 vegades respecte les xifres actuals. Això ens pot donar una idea de la dimensió i de les implicacions que això pot tenir sobre els efectes en el medi ambient i més concretament en les emissions contaminants.

El trànsit aeri internacional representa en torn al 65% de la contribució en la contaminació aeronàutica de CO2.

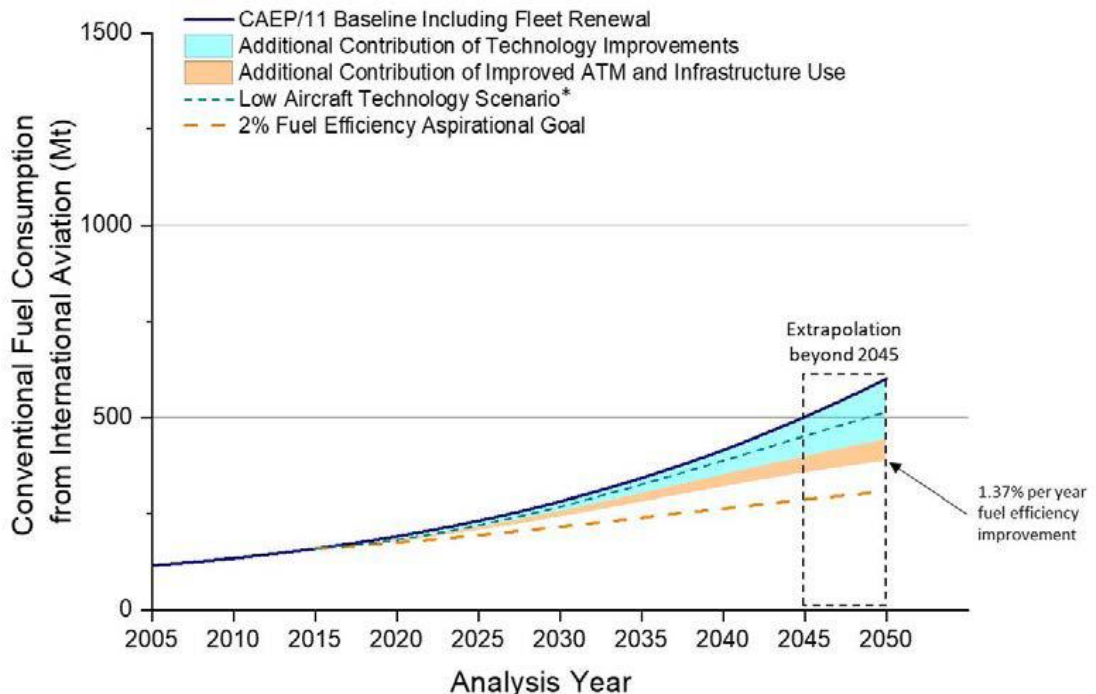
Tendències mediambientals globals de la OACI:

- Combustió de querosè i emissions

L'aviació a nivell internacional va cremar 160 Megatonnes (Mt) de combustible l'any 2015. Si tenim en compte que com hem dit amb anterioritat l'any 2045 hi haurà molt més volum de vols, el consum de combustible s'espera que incrementi entre 2,2 i 3,1 vegades en aquest període de 30 anys. Aquestes estimacions ja tenen en compte la progressiva renovació de la flota al llarg del anys, amb aeronaus cada cop més eficients. En l'apartat pròxim 1.1. sobre les tecnologies existents que ajuden a reduir les emissions de gasos contaminants es dona algun exemple numèric de quina és l'evolució i tendència pel que fa a les noves aeronaus.

Dit això, pot costar de creure que el consum pugui incrementar tant en els pròxims anys tenint en compte l'avenç tecnològic de les aeronaus cada vegada més eficients. Malgrat això, hem de recordar que les previsions de creixement que hem comentat en la introducció d'aquest extracte pel que fa al volum de trànsit aeri per les properes dècades és molt important, això és el que realment provoca que aquestes previsions de consum siguin tant elevades i preocupants.

Aquestes estimacions sempre s'han de tenir en compte fins un cert punt, ja que la tecnologia i l'escenari de la gestió del trànsit aeri (ATM) en cada moment són aspectes fonamentals que en determinen l'evolució.



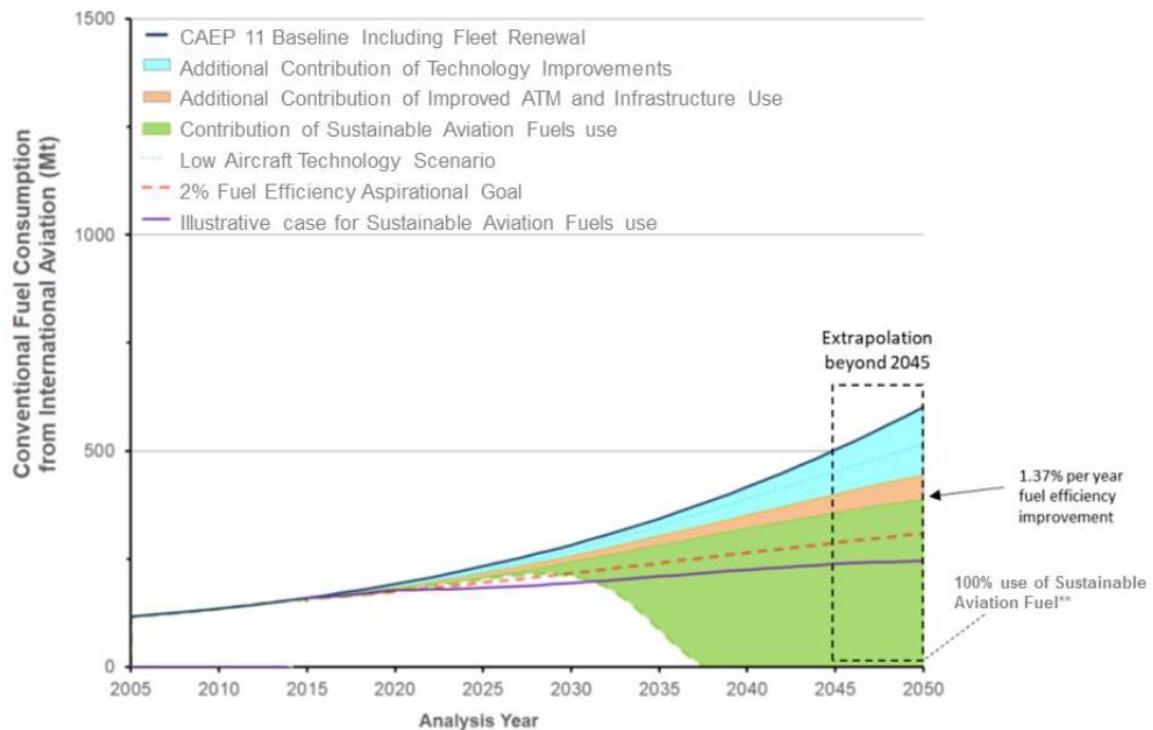
Gràfic 5. Predicció futura sobre consum de combustible aeronàutic internacional en Megatonnes (Mt)

CAEP/11: Commitee on Aviation Environmental Protection (11th Meeting) – Montreal, Febrer del 2019

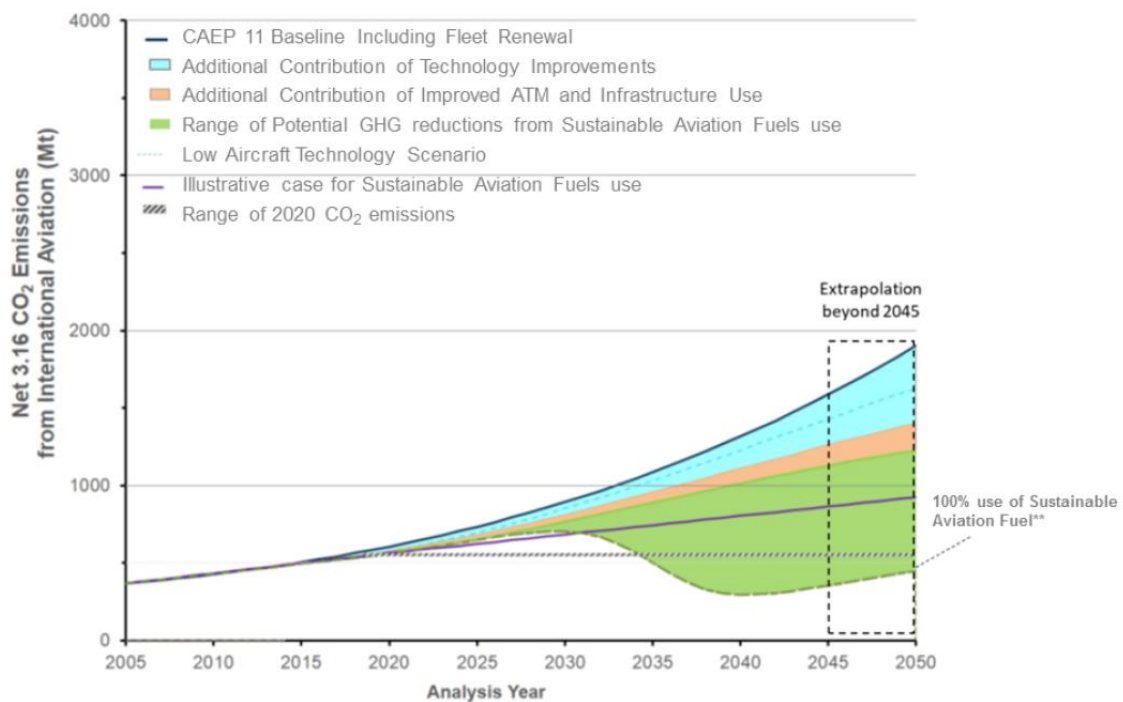
2% Fuel Efficiency Aspirational Goal: Es tracta d'un objectiu proposat per la OACI d'intentar millorar en un 2% cada any l'eficiència del combustible en les aeronaus fins al 2050. Malgrat això, en els millors escenaris la OACI projecta que com a molt es podrà arribar a la millora d'un 1,37% anual.

La situació actual pel que fa a l'ús de combustibles alternatius i sostenibles en l'aviació és molt poc

significativa i força incerta, tot i així, diversos escenaris a curt termini preveuen que un 2,6% del combustible aeronàutic consumit serà carburant sostenible cap a finals del 2025. El mateix anàlisis indica que al 2050 seria viable i possible operar el 100% dels vols internacionals mitjançant combustibles sostenibles, el que es traduiria en una reducció dràstica d'un 63% del total d'emissions aeronàutiques. Aquestes dades però, semblen molt difícils d'assolir, si tenim en compte que el cost de produir bio-fuels és substancialment més alt que el de produir combustible convencional.



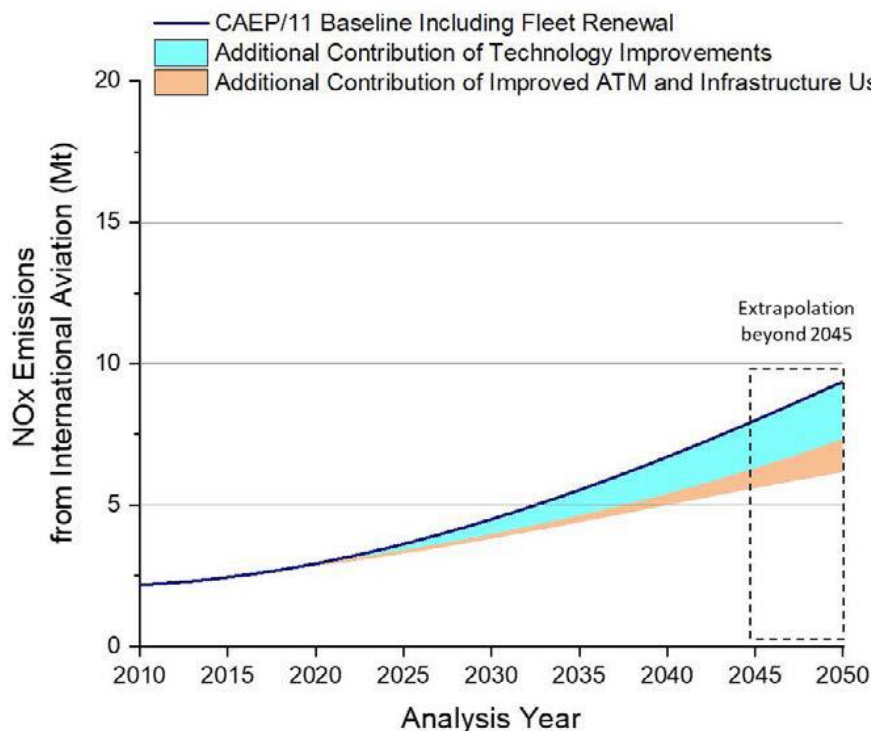
Gràfic 6. Predicció futura sobre consum de combustible aeronàutic internacional en Megatonnes (Mt) 2



Gràfic 7. Predicció futura sobre emissions CO2 segons escenaris en Megatonnes (Mt)

Cal aclarir que l'ús absolut de bio-fuels no significaria assolir un nivell d'emissions 0, certament s'aconseguiria reduir substancialment les emissions però no de manera total. La principal reducció d'emissions prové del propi procés de refinament i obtenció dels bio-combustibles en contraposició als processos d'obtenció del querosè, i no tant de les pròpies emissions que pugui emetre el propi combustible en qüestió.

En una mesura molt més baixa tenim les emissions d'òxids de nitrogen (NOx). L'any 2015 les dades mostren l'emissió de 2,5 Mt d'òxids de nitrogen provinents de l'aviació internacional. Es preveu que cap a l'any 2045 les emissions arribin a ser de 5,5 Mt en els millors dels escenaris. Si mirem a llarg termini, els NOx de vols internacionals a llarg termini seran un 21% més baixos comparats amb les projeccions de tendències anteriors. Això es pot explicar per exemple per la introducció d'aeronaus amb motors que generen menys NOx.



Gràfic 8. Predicció futura sobre emissions NOx en Megatonnes (Mt)

Conclusió:

Les emissions procedents de l'aviació internacional que afecten al clima del planeta i a la qualitat de l'aire es preveu que augmentin com a mínim fins al 2050. Tot dependrà del futur incert de millores en tecnologia i en les operacions.

· **EASA_{G8}, EEA_{G9}, EUROCONTROL_{G10}. European Aviation Environmental Report 2019[18]**

Aquest segon informe EAER proporciona una informació i avaluació actualitzada respecte del primer, publicat al 2016, sobre els efectes del sector aeronàutic en el medi ambient i clima a nivell europeu.

L'objectiu d'aquest document és publicar de manera clara i concisa la informació necessària per poder fer front al problema cooperant entre els diferents estats membres per seguir invertint en noves tecnologies i tècniques que permetin abordar aquest desafiament mediambiental europeu a llarg termini.

➔ **Extracte:**

Visió general:

En l'any 2016 l'aviació representava un 3,6% del total de les emissions d'efecte hivernacle dels EU28_{G11}, i el 13,4% de les emissions totals procedents del transport.

Cap al 2040, les emissions de CO₂ i NO_x es preveu que incrementin com a mínim en un +21% i +16% respectivament.

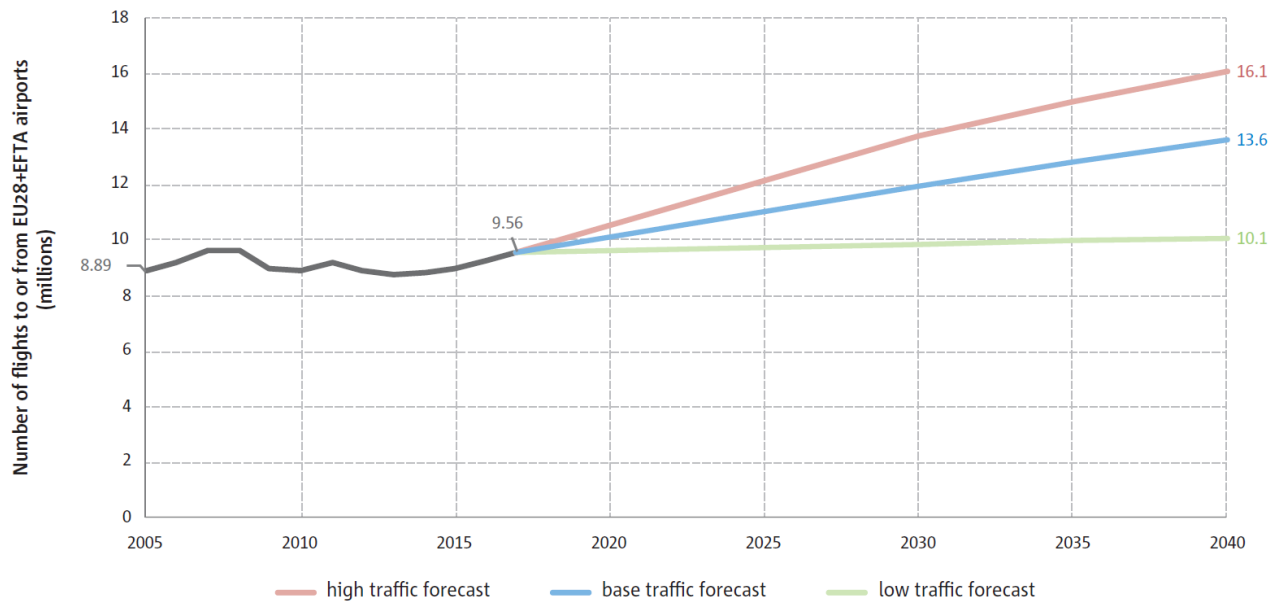
El nombre d'aeroports que realitzen més de 50.000 operacions anuals s'espera que augmenti en una mitjana de 110 en el 2040.

L'eficiència de les aeronaus continuarà millorant, al 2040 la mitjana de combustible consumit per passatger i kilòmetre es veurà reduïda en un -12%.

- **Trànsit aeri**

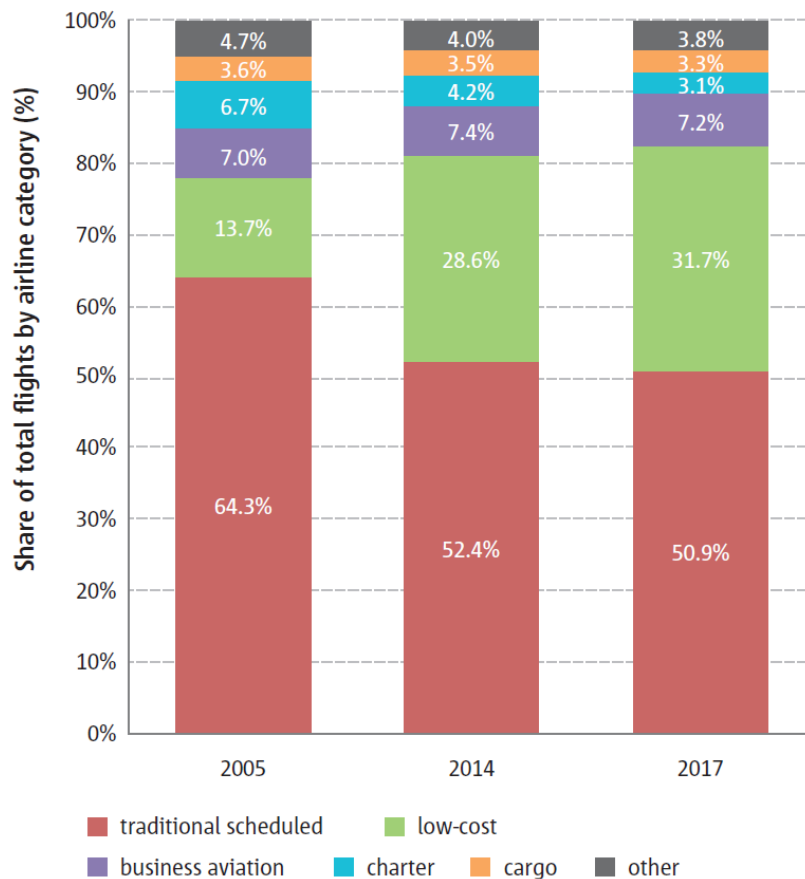
El volum de transit aeri a nivell europeu creix més que ràpid, el 2017 hi ha hagut un 50% més que en el 2005.

El nombre de vols augmentarà en un +42% entre el 2017-2040 sota la previsió de trànsit base.



Gràfic 9. Predicció futura sobre nombre de vols des d'aeroports de EU28+EFTA

El següent gràfic de barres mostra la tendència de volum de vols per tipus d'aerolínia:



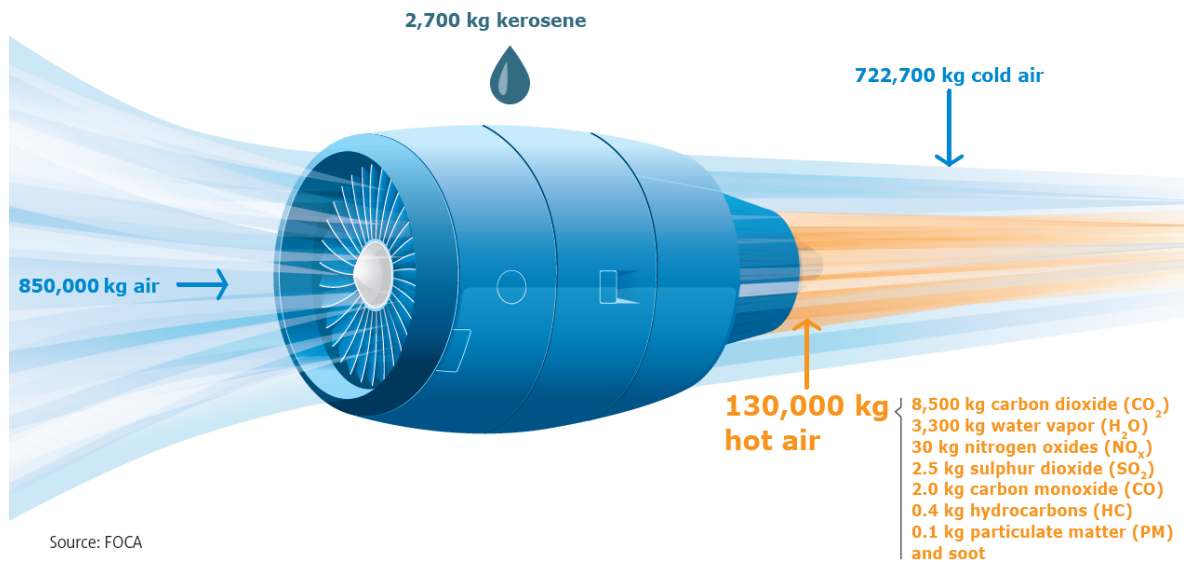
Gràfic 10. Distribució de vols segons tipus d'aerolínia

Com es pot apreciar, la tendència cap a les aerolínies *low-cost* o baix cost és clara.

Una altra clara tendència és referent a la càrrega aèria, tant els avions íntegres de càrrega com la mercaderia en bodegues d'avions de passatgers ha augmentat un 55% respecte al 2005.

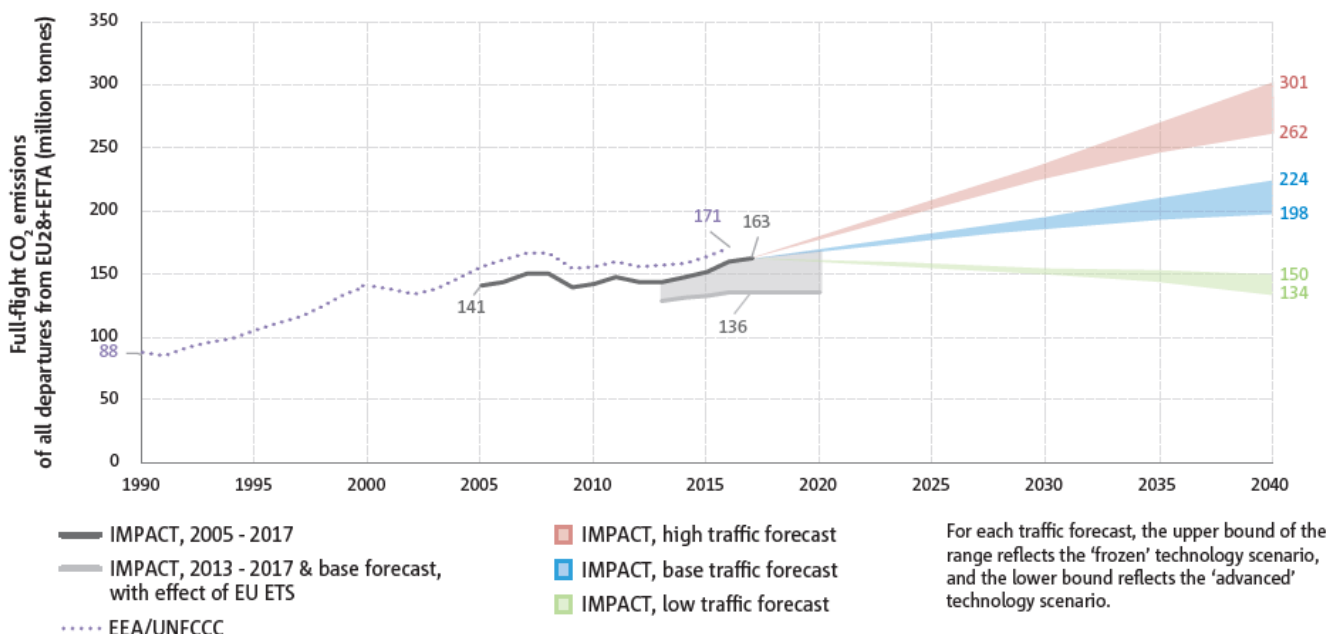
- Emissions

La següent imatge mostra les emissions típiques d'una aeronau bimotor durant 1h de vol amb 150 passatgers a bord.



Imatge 4. Emissions procedents d'un turbofan bimotor habitual durant 1h de vol

Segons dades de la UNFCCC (United Nations Climate Change) les emissions de CO₂ de vols enlairats dels EU28 i EFTA_{G12} han incrementat de 88 a 171 milions de tones en el període entre 1990 i 2016. Això representa un increment del +95%.

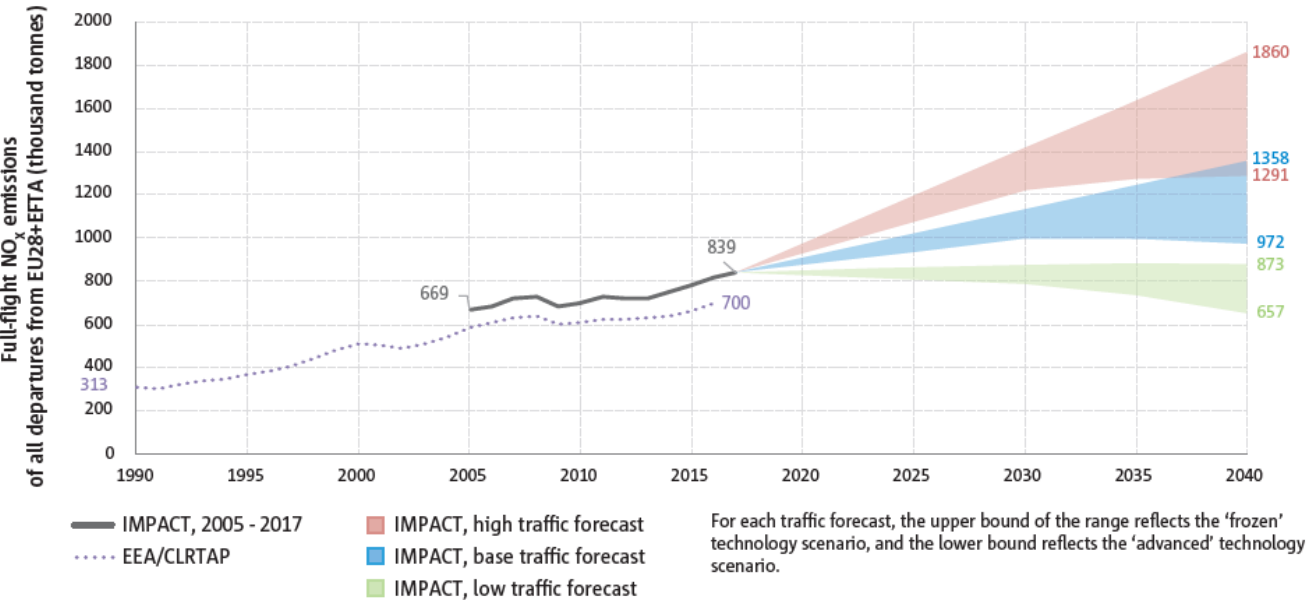


Gràfic 11. Predicció futura sobre emissions CO₂ de vols procedents de EU28+EFTA en Megatonnes (Mt)

Pel que fa al consum de combustible pel mateix període, concretament la mitjana de combustible cremat per passatger i kilòmetre, ha disminuït en un -24%. Tot i això, aquest increment en l'eficiència no és suficient per frenar les emissions de CO2 degut al increment en el volum de vols, per la mida de les aeronaus, així com també per les distàncies a recórrer.

L'aviació Europea representa el 20% del total de les emissions aeronàutiques de CO2 del món (2015).

Pel que fa a les emissions de NOx també es preveuen increments que podran ser una mica més retinguts gràcies a la tecnologia avançada de combustió que permet reduir l'emissió d'aquests gasos tòxics.



Gràfic 12. Predicció futura sobre emissions NOx de vols procedents de EU28+EFTA en Milers de tones

	Units	2005	2014	2017	2040 Base forecast	
					Advanced Tech	Frozen Tech
					(% change since 2005)	
Average fuel consumption of commercial flights	kg per passenger kilometre ¹	0.0355	0.0294	0.0270	0.0210	0.0238
	litres per 100 passenger kilometres ¹	4.4	3.7	3.4	2.6	3.0
			(-17%)	(-24%)	(-41%)	(-33%)
CO ₂	million tonnes	141	148	163	198	224
			(+5%)	(+16%)	(+40%)	(+59%)
NO _x	thousand tonnes	669	749	839	972	1358
			(+12%)	(+25%)	(+45%)	(+103%)
HC	thousand tonnes	55	53	57	58	
			(-4%)	(+3%)	(+6%)	
CO	thousand tonnes	110	102	108	99	
			(-7%)	(-2%)	(-9%)	
volatile PM	thousand tonnes	126	123	136	157	
			(-3%)	(+8%)	(+25%)	
non-volatile PM	thousand tonnes	76	55	53	71	
			(-27%)	(-30%)	(-5%)	

1 Kilometres represent the actual flown distance between origin and destination

Taula 5. Consum + Emissions contaminants procedents de l'aviació comercial de EU28+EFTA

1.1. Anàlisi de l'actualitat i tendències pel que fa a la ciència i tecnologia en la navegació aèria (avions, combustibles, dispositius, etc.) existents per a reduir les emissions en la navegació aèria.

Cada nova generació d'aeronaus té una millora de l'eficiència del combustible en dos xifres, fins a un 20% més eficient que la generació anterior. Això significa que els avions amb els que volem actualment produeixen un 80% menys de CO₂ / per seient que els primers jets dels anys 1950.

Millorar l'eficiència en termes de combustible per a un aerolínia és vital, ja que hem de tenir en compte que el combustible correspon a més del 30% dels costos operatius per a una aerolínia. [19]

Per tant, l'eficiència en termes de combustible és crítica per al futur de l'aviació, no només per raons mediambientals sinó també a nivell financer.

En l'actualitat l'aviació està fent front als desafiaments mediambientals de forma directa o indirecta de diverses maneres:

- I.** Millores significatives en cada nova generació de motors aeronàutics
- II.** Ús adequat i eficient de la flota segons les característiques de la ruta
- III.** Evolució en aspectes aerodinàmics
- IV.** Fabricació d'aeronaus més lleugeres
- V.** Ús de combustibles alternatius i sostenibles
- VI.** Primers passos en l'aviació elèctrica i/o híbrida
- VII.** Infraestructures, sistemes i equipaments aeronàutics menys contaminants

- I. Noves aeronaus com l'*Airbus A350* o el *Boeing 737MAX* són capaces de consumir menys de 3 litres per cada 100km i passatger. Aquests valors són comparables a consums d'alguns cotxes compactes. Els motors de les aeronaus es troben en constant evolució i millora.

Essencialment en l'actualitat existeixen dos tipus de motors aeronàutics:

- Motors de combustió interna: poden ser de pistó o bé de turbina de gas. Aquests últims són els més habituals en aeronaus de turbohèlix (o *turboprop*) i en helicòpters amb el turbo-eix (o *turboshaft*).



Imatge 5.

Cessna Turbo Stationair HD – Exemple d'aeronau amb motor de pistó



Imatge 6.

ATR 72-600 – Exemple d'aeronau amb motor turbohèlix (o turboprop)



Imatge 7.

Bell 407 – Exemple d'helicòpter amb motor turbo-eix (o turboshaft)

· Motors a reacció: pràcticament tots es basen en la combustió per turbina de gas i els principals són els turboreactors (o *turbojet*) i els *turbofan*.

Els turboreactors són el tipus més antic de motors de reacció i es troben en desús pel transport de passatgers. Són poc eficients a velocitats per sota de la supersònica i molt més sorollosos en comparació amb els *turbofan*. [20]



Imatge 8.

Boeing 727 – Exemple d'aeronau amb motor turboreactor (o turbojet). Actualment en servei només per transport de càrrega o militars.



Imatge 9.

Airbus A320 – Exemple d'aeronau amb motor *turbofan*

L'evolució en cada nova generació d'aeronaus és marcada, per exemple, l'*Airbus A320neo* (2016) consumeix un 15% menys que el *A320* (1988), això correspon segons dades d'Airbus a un estalvi equivalent de 3.600 tones de CO₂ / per any i aeronau. A més, redueix en gairebé un 50% les emissions de NO_x respecte l'*A320*. [21]

- II. Les aeronaus del tipus turbohèlix (o *turboprop*) com el *Bombardier Q400* o els de la sèrie ATR són una molt bona alternativa eficient de cara a cobrir rutes regionals.

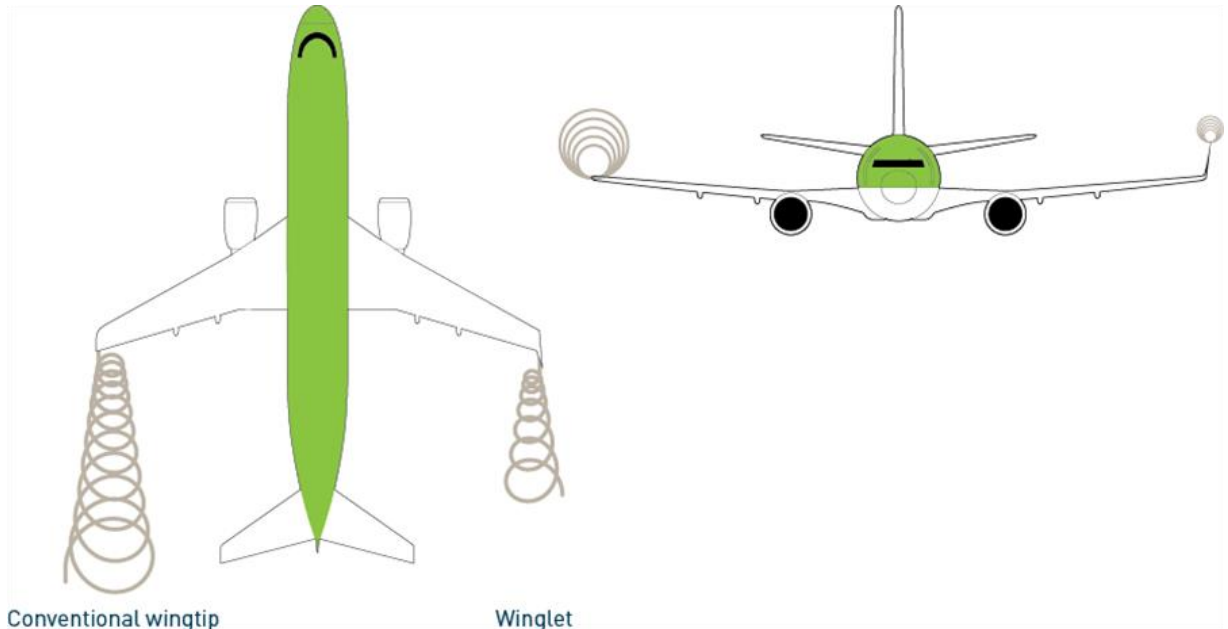
Per a vols regionals de poca demanda els *turboprop* són els més eficients, mentre que per rutes de mitja-llarga distància els *turbofan* són els indicats.



Imatge 10. Aeronau model Bombardier Q400

- III. L'ús de dispositius aerodinàmics com els *wingtips* o punta alar ajuden a aconseguir un extra d'eficiència. Permeten disminuir entre un 3-5% el consum de combustible segons la longitud de la ruta i el tipus d'aeronau.

Quan l'aire a alta velocitat de la part superior de l'ala es troba amb l'aire més lent de la part inferior es crea una espècie de remolí d'aire, els *wingtips* ajuden a reduir aquest fenomen i a tenir una aeronau més aerodinàmica. [22]



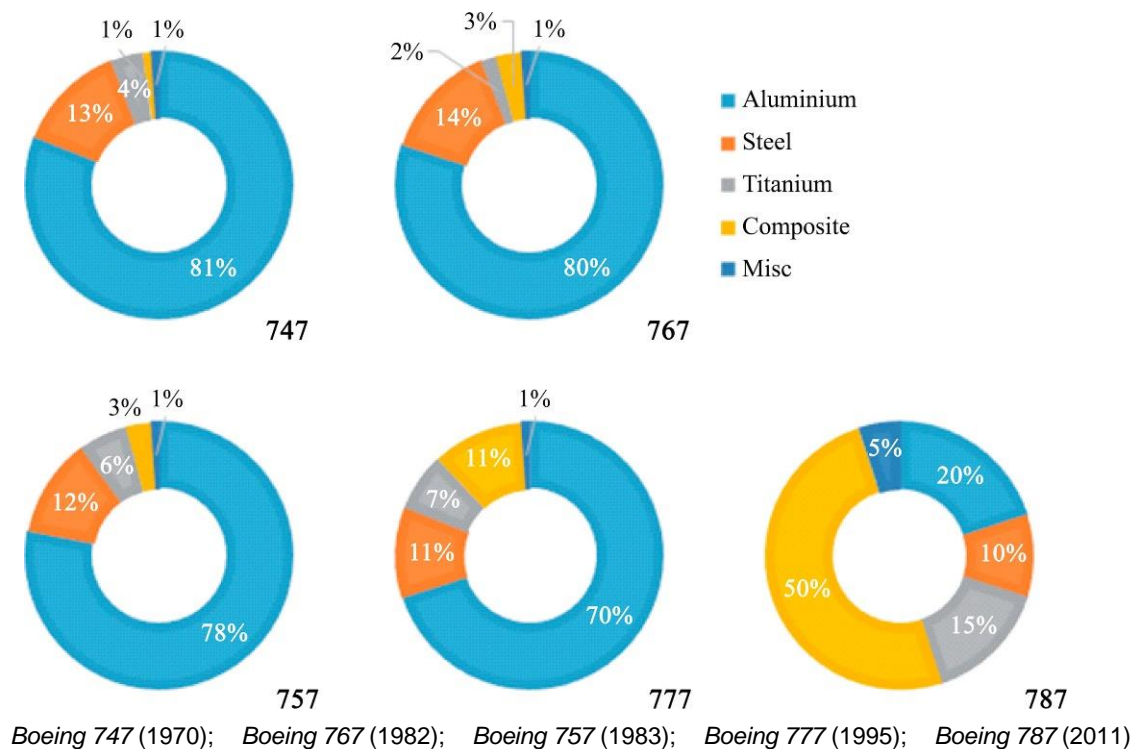
Imatge 11. Dibuix representatiu del funcionament dels dispositius wingtips o punta alar

- IV. Fabricació d'aeronaus a base de materials ultra lleugers com els compostos a base de carboni. Com podem veure a continuació, un avió força actual com ho és l'A350 està fabricat en més de la meitat, de compostos de materials ultralleugers. [23]



Gràfic 13. Proporció dels materials utilitzats en la construcció d'una aeronau del tipus Airbus A350

La imatge de continuació mostra els materials utilitzats per la construcció dels diferents models d'aeronaus de Boeing, com es pot apreciar hi ha una clara tendència per intentar alleugerir tot el possible l'aparell. Passem d'utilitzar en torn al 80% d'alumini en el 747 a només utilitzar-ne un 20% en el recent *Dreamliner* 787.



Gràfic 14. Proporció i Evolució dels materials utilitzats en la construcció de diferents aeronaus Boeing

Segons Boeing, el 787 consumeix un 20% menys de combustible que qualsevol aeronau de mida similar (Ex: 767), evidentment aquesta millora en l'eficiència no només es deu als propis components utilitzats que són molt més lleugers en el *Dreamliner*, sinó també gràcies a uns motors molt més recents i una aeronau més aerodinàmica. [24]

- V. Consum de combustibles alternatius i sostenibles en aeronaus comercials. El seu ús total podria permetre reduir un 80% les emissions de CO2 comparat amb els combustibles fòssils. El primer vol de prova amb un avió comercial es va donar l'any 2008, des de llavors s'ha seguit investigant i treballant en aquest sentit. S'han operat fins a un total de 252.592 vols utilitzant bio-fuels des del 2011. [25] Tot i això encara hi ha molt per fer, només 7 aeroports en tot el món subministren de manera regular aquest tipus de combustibles^{*7}.

^{*7} Dades segons GFAAF (ICAO)

Es tracta d'una alternativa poc atractiva per a les aerolínies donat el elevat cost de produir aquest tipus de combustibles.



Imatge 12. Aeronau B787 sent proveït de combustible sostenible alternatiu

- VI.** Ens trobem en les primeres etapes de recerca i investigació pel que fa a la possibilitat de fabricar aeronaus completament elèctriques o híbrides.

El primer avió comercial de passatgers totalment elèctric es va presentar al Saló Internacional de l'Aeronàutica i l'Espai de París l'any 2019. Aquest prototip d'avió anomenat "Alice" fabricat per *Eviation Aircraft* (Israel), és capaç de transportar fins a 11 persones incloent els dos tripulants fins a una distància màxima de 1.046 km i a una velocitat de creuer de 482 km/h (a 10.000 ft o 3.000 m). La velocitat màxima capaç d'aconseguir amb els seus 3 motors elèctrics de 350 cavalls de potència (cada), és de 630km/h. El cost d'operar amb l'Alice serà molt menor que el que costaria operar amb un avió de combustió de característiques semblants. Es preveu que entri en servei l'any 2022. [26]



Imatge 13. Aeronau "Alice" exhibida en el Saló Internacional de l'Aeronàutica i L'Espai de París (2019)



Imatge 14. Model 3D de l'aeronau "Alice"

- VII.** S'ha de considerar que la contaminació del sector aeronàutic també prové de les infraestructures aeronàutiques i no només del funcionament de les pròpies aeronaus. Per això s'està duent a terme, per exemple, la introducció de vehicles elèctrics o de baixes emissions en la plataforma; molts aeroports també tenen importants instal·lacions solars. Com és el cas de l'aeroport Internacional de Dubai (Terminal 2) que compta amb 15.000 panells solars. Té una capacitat de 5 MW_{G13} de potència. Això permet suplir el 29% de l'energia necessària per fer funcionar aquesta terminal. I d'aquesta manera es redueixen les emissions anuals de CO₂ en 3.243 Tones. [27]



Imatge 15. Panells solars instal·lats en la Terminal 2 de l'aeroport internacional de Dubai

1.2. Anàlisi de l'actualitat i tendències pel que fa a les tècniques/operacions de navegació aèria existents per a reduir les emissions contaminants [28][29][30]

El Comitè de Protecció Mediambiental d'Aviació (CAEP) assisteix a la OACI a la hora de formular noves polítiques i adoptar nous estàndards i pràctiques recomanades relacionades amb el soroll aeronàutic i les emissions, i més generalment en l'impacte mediambiental de l'aviació.

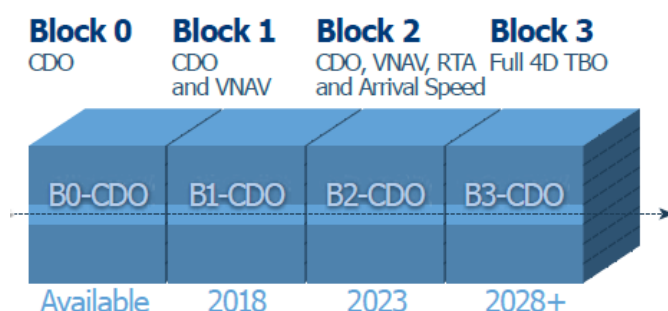
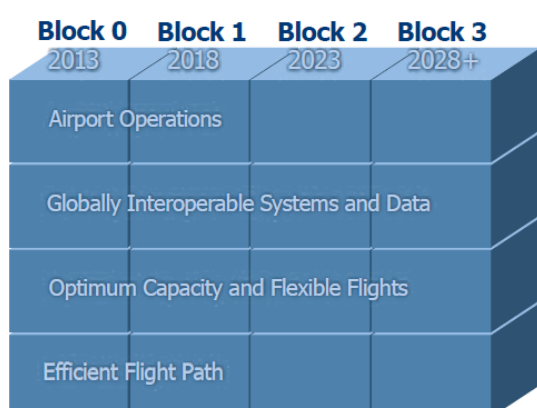
A continuació es mostra una taula amb els mòduls del ASBU (Block 0) que aporten estalvis (reducció) pel que fa a consum de combustible i a les corresponents emissions de CO2.

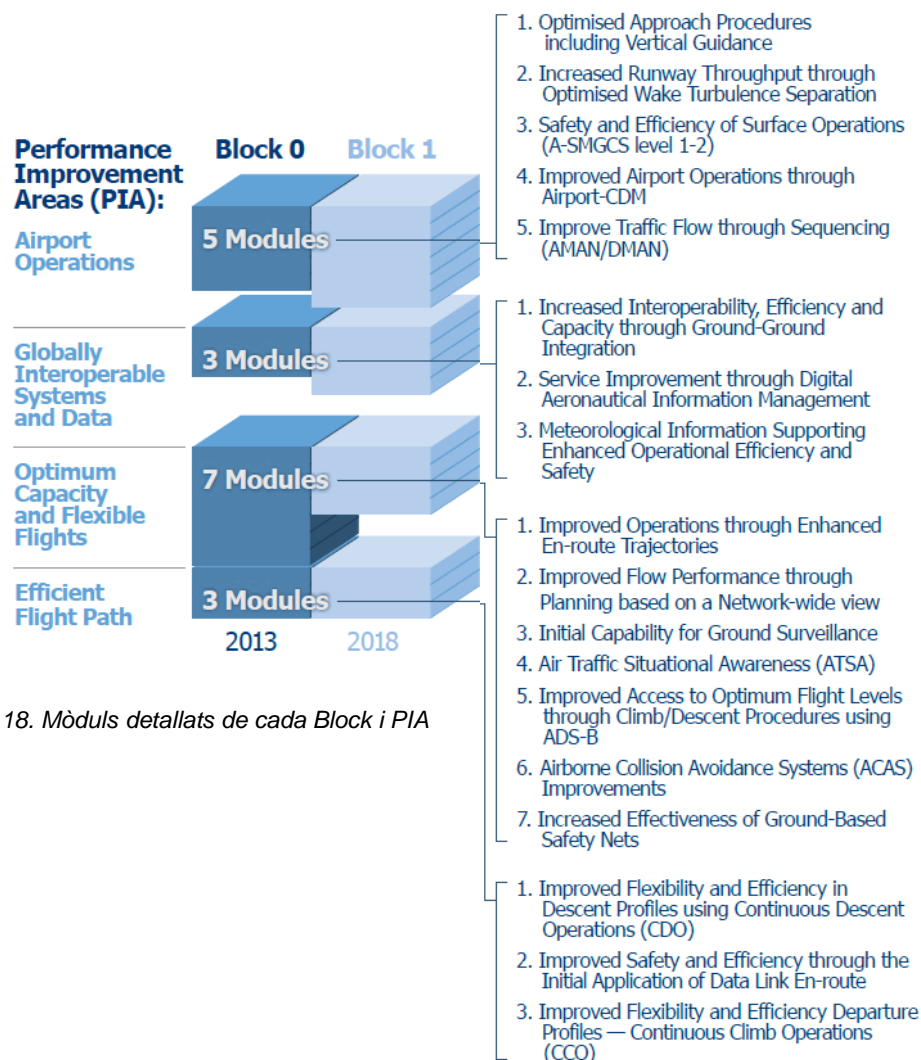
Module	Title	Benefits
B0-CDO	Continuous Descent Operations	Reduced fuel burn on arrival
B0-FRTO	Free Route Operations	Reduced in-flight fuel burn
B0-RSEQ	Runway Sequencing	Reduced airborne holding and taxi-out time
B0-CCO	Continuous Climb Operations	Reduced fuel burn during climb
B0-NOPS	Network Operations	Reduced fuel burn in all phases of flight, including taxi
B0-TBO	Trajectory Based Operations	Reduced in-flight fuel burn
B0-WAKE	Wake Turbulence Separation	Reduced taxi-out time and reduced in-flight fuel burn
B0-ACDM	Airport Collaborative Decision Making	Reduced taxi-out time
B0-ASUR	Alternative Surveillance	Reduced in-flight fuel burn
B0-OPFL	Optimum Flight Levels	Reduced in-flight fuel burn
B0-APTA	Approach procedures including vertical guidance	Reduced fuel burn during arrival, fewer missed approaches
B0-SURF	A-SMGCS, ASDE-X	Reduced taxi and airborne holding time
B0-AMET	Met information supporting enhanced operational efficiency	Reduced fuel burn in all phases
B0-FICE	Increased efficiency through ground - ground integration	Reduced in-flight fuel burn (benefits not quantified in the analysis)
B0-DAIM	Digital AIM	Reduced in-flight fuel burn (benefits not quantified in the analysis)

Taula 6. Recull de mòduls del ASBU (Block 0) que aporten estalvis en termes de consum de combustible aeronàutic

El ASBU (Aviation System Block Upgrades) és un paquet de capacitats (mòduls) creat per la CAEP que té com a objectiu millorar la gestió i operativa aèria. Es divideix en diversos blocs:

Performance Improvement Areas (PIAs)





Imatge 18. Mòduls detallats de cada Block i PIA

Cada una de les operacions aeronàutiques, des de que encén motors per fer les proves prèvies en plataforma fins que estaciona en l'aeroport de destí i apaga els motors, té la possibilitat de ser més eficient en cada un dels seus processos.

Dividirem entre 4 les fases d'operació:

- En terra

El primer dels processos que es duen a terme en aquest moment és fer la posada a punt de l'aeronau, això inclou encendre els motors per començar a fer les corresponents proves així com també iniciar tots els sistemes de aire condicionat, hidràulic i altres sistemes que requereixen energia elèctrica. Això se sol fer a través del APU (Auxiliary Power Unit), es tracta d'un petit generador elèctric a base de combustió que se sol ubicar a la cua del avió. Aquest generador permet utilitzar aquesta energia inicial per poder engegar els motors i els principals sistemes que hem comentat abans.

Són molts aeroports que, o bé ja incorporen, o que estan començant a incorporar a les seves portes

d'embarcament, subministrament elèctric directe des del terra o també aire pre-condicionat. Això permet als pilots de les aeronaus poder prescindir del APU estalviant combustible i per tant, contaminar menys.

Des del moment en que l'aeronau abandona la zona d'embarcament, els motors estan encesos per poder començar a fer el *taxiing* i arribar a la pista assignada, aquest és un procés molt poc eficient com ja hem comentat a l'inici d'aquesta memòria. Actualment existeixen diverses tècniques per millorar l'eficiència en aquest sentit, per exemple, la realització del *taxiing* mitjançant un sol motor o a través de dispositius de conducció autònoma que encara es troben en vies de desenvolupament.

En base a la taula mostrada amb anterioritat, a continuació s'explica concretament algunes de les operacions o tècniques a terra que si s'adopten poden aportar beneficis mediambientals.

[B0-RSEQ o B0-15] Improved Runway Traffic Flow through **Runway Sequencing** (AMAN/DMAN)

Les millores pel que fa a la gestió de les arribades i les sortides de varies pistes, tenen l'objectiu de millorar la gestió, fer-la més eficient i d'aquesta manera guanyar en capacitat. També ajuda a reduir els temps d'espera dels avions a l'aire i a terra, i per tant, reduir el consum ineficient de combustible que genera emissions innecessàries. Grans *hubs*_{G14} i aeroports de gran densitat de vols diaris són els que millors resultats obtindrien.

[B0-WAKE o B0-70] Increased Runway Throughput through Optimized **Wake Turbulence Separation**

Relacionat amb el mòdul anterior sobre millorar en la gestió de les pistes, ens trobem amb que no totes les aeronaus tenen la mateixa estela de turbulència, tot dependrà de la mida de l'aeronau. Per tant, si s'enlaira una aeronau *heavy* i darrera ha d'enlairar-se una *light*, la distància haurà de ser major entre els dos enlairaments que si és al revés, i la *light* surt abans que la *heavy*, en aquest cas la distància serà menor per la petita estela que genera l'aeronau *light*. El mateix passa amb les aeronaus que volen aterrar.

La gestió eficient en aquest sentit és important no només per millorar-ne la capacitat sinó també perquè ajuda a reduir els temps de *taxiing* que provoquen una reducció important dels consums de querosè.

[B0-ACDM o B0-80] Improved Airport Operations through **Airport Collaborative Decision Making**

La implementació d'aplicacions col·laboratives que permeten compartir dades d'operacions de superfície entre els diferents *stakeholders*_{G15} de l'aeroport ajuda a millorar la gestió del transit en superfície i de la mateixa manera a reduir els temps de *taxiing*, és a dir, menys combustible cremat.

[B0-FICE o B0-25] Increased Interoperability, Efficiency and Capacity through Ground - **Ground Integration**

Aquest mòdul busca millorar la coordinació entre les unitats de serveis de trànsit aeri (ATSU_{G16}) a través de l'ús de la comunicació de dades d'interfaç ATS_{G17} (AIDC) prèviament definida pel Manual of Air Traffic Services Data Link Applications_{G18} de la OACI. La transferència de dades en entorns Data Link millora l'eficiència del procés especialment per a ATSUs oceànics. A més, ajuda a reduir els consums de combustible en vol, tot i que no s'ha fet una quantificació.

El Air Traffic Service Unit (ATSU) és un ordinador d'aviònica construïda per Airbus per ser instal·lat en els seus avions (sense incloure la sèrie A300 i A310).

[B0-SURF o B0-75] Safety and Efficiency of Surface Operations (**A-SMGCS, ASDE-X**)

Es tracta de fer ús dels sistemes A-SMGCS_{G19} i/o ASDE-X_{G20} que proporcionen vigilància i alerta dels moviments d'aeronaus i d'altres vehicles de plataforma en la zona del aeròdrom, d'aquesta manera no només s'aconsegueix millorar-ne la seguretat, sinó també millorar en l'eficiència dels temps de taxiing de les aeronaus i disminuir el consum de combustible innecessari.

- Enlairament

El procés d'enlairament té pocs possibles canvis, s'acostuma a fer de la mateixa manera per la majoria d'aeronaus, generalment màxima potència en els motors en aeronaus lleugeres i una mica menys per aeronaus més grans per tal de allargar la vida útil dels motors.

Un cop l'aeronau ja és a l'aire les possibilitats d'ascens fins arribar a velocitat i altitud de creuer són diverses, sobretot segons les condicions meteorològiques, trànsit, terreny, etc.

En base a la taula mostrada amb anterioritat, a continuació s'explica concretament algunes de les operacions o tècniques en l'enlairament que si s'adopten poden aportar beneficis mediambientals:

[B0-CCO o B0-20] Improved Flexibility and Efficiency in Departure Profiles – **Continuous Climb Operations (CCO)** [31]

El procediment consisteix en l'ascens continuat ininterromput (CCO – Continuous Climb Operation), utilitzant una potència de motor i velocitat d'ascens òptimes fins arribar al nivell de creuer.

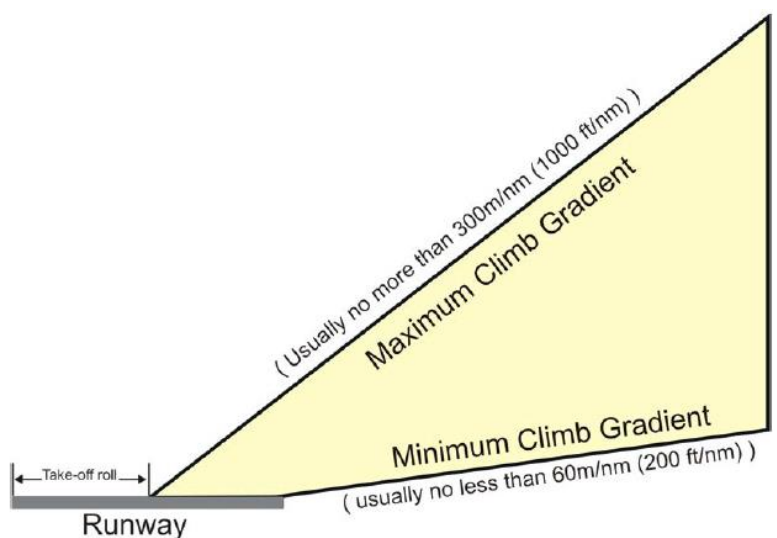
La configuració d'aquesta trajectòria d'ascens ideal depèn de molts factors com, altres trànsits aeris, restriccions de terreny, espai aeri restringit, tipus d'aeronau i restriccions de soroll. Tot això provoca que s'hagi de modificar el disseny de la trajectòria teòricament més eficient.

Més enllà d'aportar millores en la capacitat en àrees congestionades, obtenir més flexibilitat també s'aconsegueix utilitzar el combustible de manera molt més eficient en aquesta part del vol.

Dissenys de CCO:

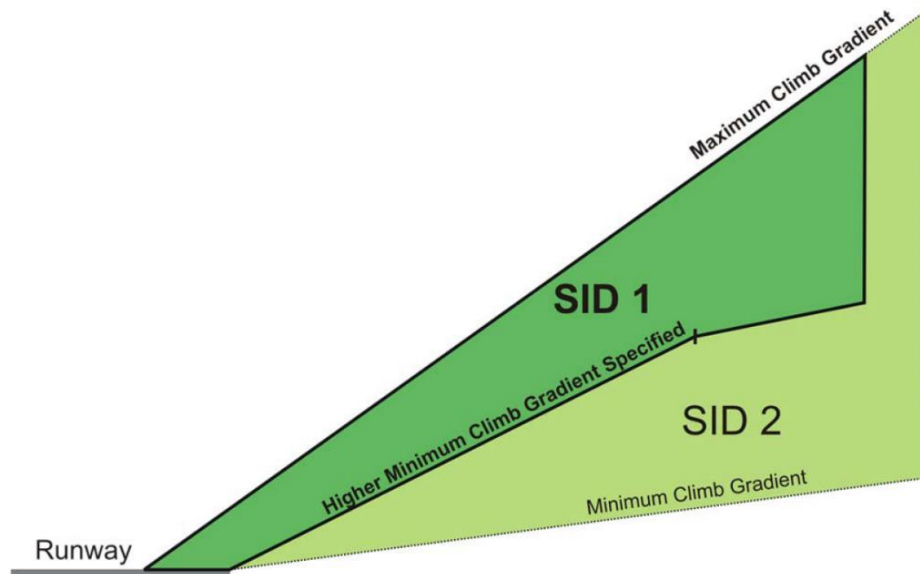
· CCO Bàsica → No hi ha restricció de taxa d'ascens. Requereix una quantitat important d'espai aeri vertical lliure i també pot ampliar el recorregut per tal de donar a l'aeronau la distància necessària per eliminar els obstacles del terreny.

nm: Milla nàutica (1 nm = 1,852 km)



Imatge 19. Representació gràfica del funcionament de la CCO Bàsica

- CCO Millorada amb múltiples possibilitats d'ascens → En aquest cas ens trobem amb un disseny per ser utilitzat per dos casos diferents, un per aeronaus que requereixen una distància extra per guanyar altura i l'altre opció per les aeronaus que no tenen restriccions en aquest sentit i poden fer una trajectòria més eficient.



Imatge 20. Representació gràfica del funcionament de la CCO Millorada

En el següent enllaç web es pot veure un vídeo realment útil que ajuda a entendre com funcionen aquest tipus d'operacions (CCO i CDO), i els beneficis que aporten.

Video CCO i CDO (EUROCONTROL) → <http://www.youtube.com/watch?v=mUkMPb5eVJI>

- En ruta

En la fase de vol en la que ja s'ha assolit l'altitud i velocitat de creuer és la més llarga i sovint es poden fer poques coses degut a les instruccions que reben els pilots dels controladors, per qüestions de congestió i d'organització del trànsit aeri no sempre es pot realitzar la ruta més directa o eficient.

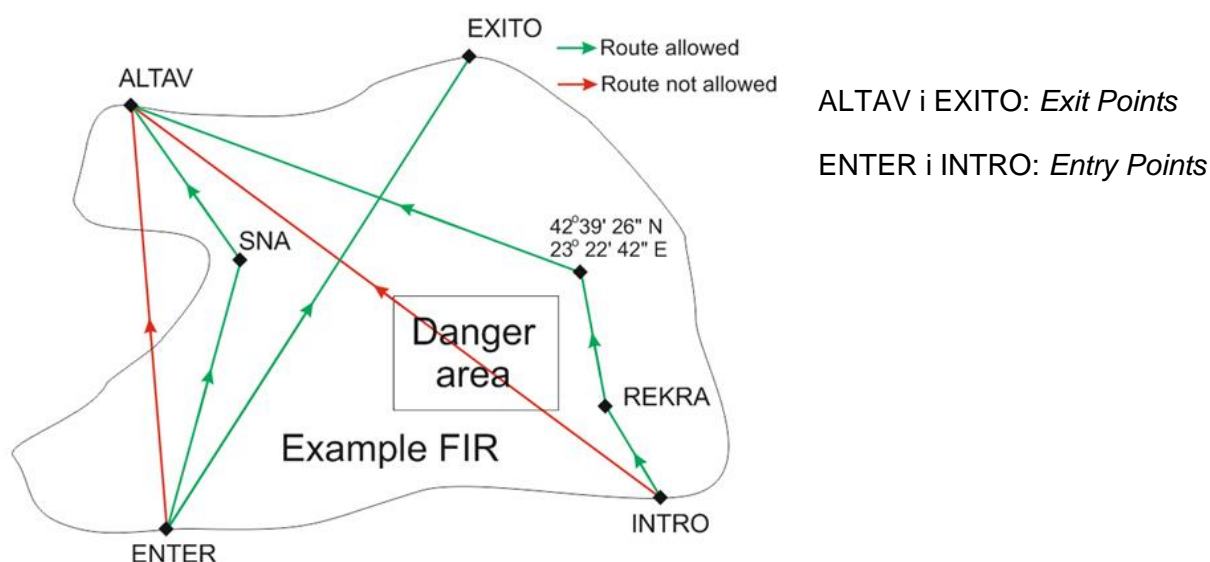
En base a la taula mostrada amb anterioritat, a continuació s'explica concretament algunes de les operacions o tècniques en ruta que si s'adopten poden aportar beneficis mediambientals:

[B0-FRTO] Free Route Operations

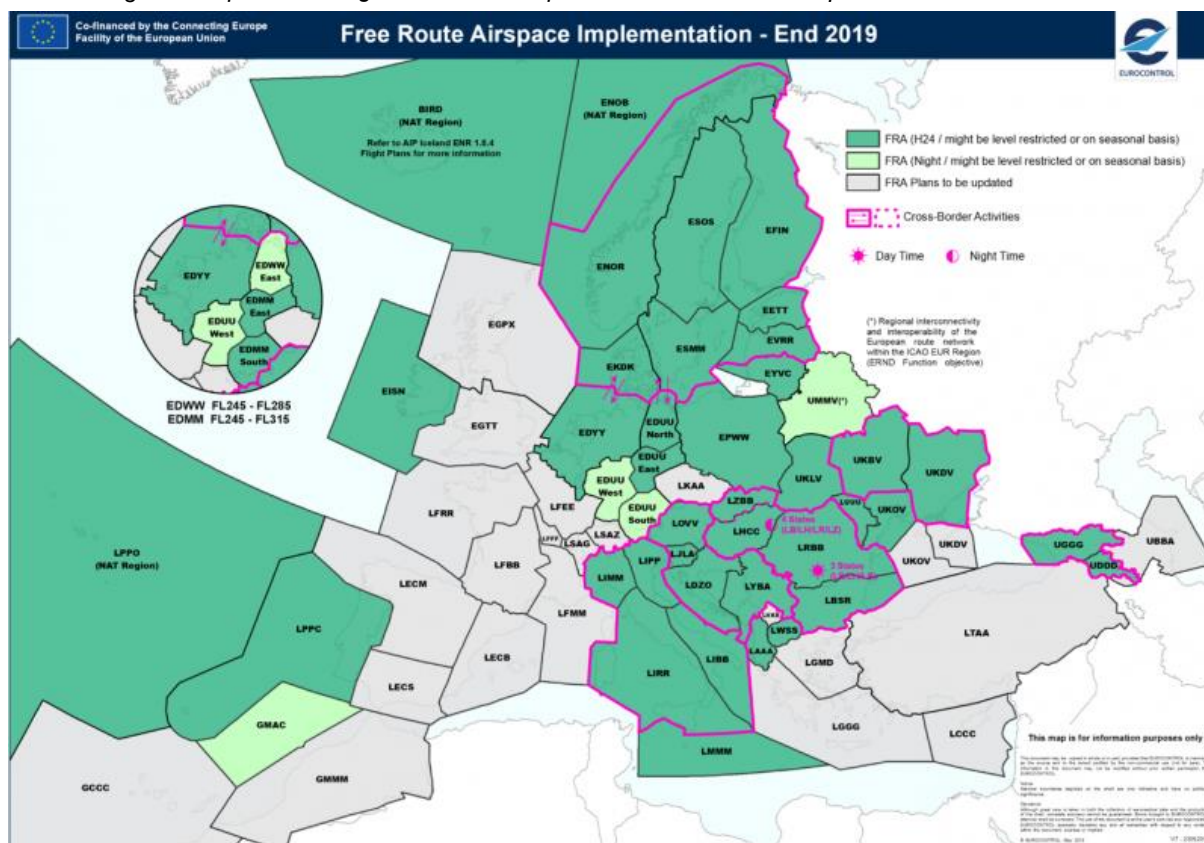
En general, la majoria d'espais aeris importants estan regulats per les aerovies de les quals les aeronaus no es poden desviar sense un motiu de pes. Tot i això, existeixen alguns espais aeris de ruta lliure que permeten a l'aeronau traçar una ruta lliure amb uns punts d'entrada i sortida definits.

Sovint aquests espais aeris són espais poc concorreguts o que es transformen a FRA (*Free Route Airspace*) quan així ho creuen oportú, com per exemple segons la temporada o hora del dia.

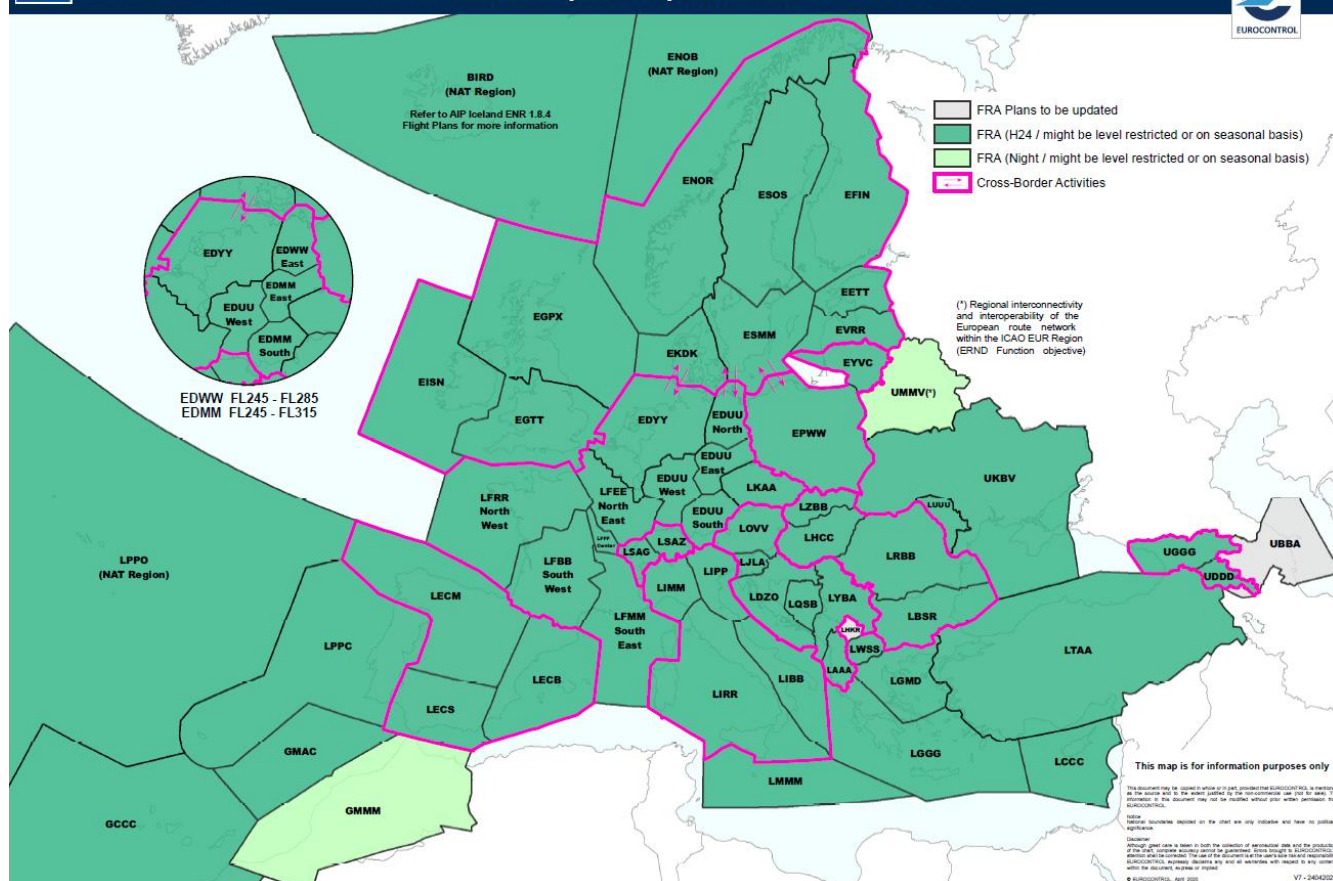
Aquest tipus d'espais aeris permeten traçar rutes més eficients i per tant emetre menys CO₂ a l'atmosfera. Exemple de FRA:



Imatge 21. Representació gràfica d'un exemple de funcionament de l'operació Free Route



Imatge 22. Estat de la implementació del Free Route Airspace a finals del 2019 (EUROCONTROL)



Imatge 23. Estat previst de la implementació del Free Route Airspace a finals del 2024 (EUROCONTROL)

[B0-TBO] Improved Traffic synchronization and Initial **Trajectory-Based Operations**

Millorar la sincronització dels fluxos de trànsit aeri en els punts de fusió en ruta així com optimitzar la seqüència d'aproximació mitjançant l'ús de la capacitat del 4DTRAD_{G21} (*4D Trajectory Data Link Service*) o a nivell aeroportuari amb el D-TAXI (Es tracta de l'intercanvi d'informació amb la cabina durant l'engegada, *pushback*_{G22} i *taxiing*). Amb tecnologies com aquestes i fent un ús eficient d'elles es millora en capacitat, predictibilitat i també en un menor consum de combustible en vol.

[B0-OPFL o B0-86] Improved Acces to **Optimum Flight Levels** through Climb/Descent Procedures using ADS-B_{G23}

Permet a l'aeronau aconseguir un nivell de vol més satisfactori per millorar-ne l'eficiència i evitar turbulències per seguretat.

Operar amb una **menor altitud de vol** [32]

Segons un estudi una major altitud de les aeronaus afecta a la creació de més esteles de condensació, però també hem de recordar que a més altura menys resistència de l'aire i per tant menys consum de combustible.

Segon l'estudi de la revista científica *Environmental Science & Technology* (2020), només amb la modificació de l'altitud de vol del 2% de tots els vols s'aconseguiria reduir fins a un 59% l'impacte que aquestes esteles provoquen en el medi ambient. Concretament volar 610 metres més baix.

Amb la poca informació respecte a l'efecte real de les esteles de condensació es fa difícil determinar si els beneficis d'una acció com aquesta estarien per sobre dels inconvenients com són consumir més combustible per haver de volar més baix i en definitiva emetre més gasos contaminants.

- **Aterratge**

D'igual manera que en l'enlairament, l'aterratge no és sempre igual i està subjecte a molts factors que en poden variar el seu procediment, o fins i tot anular del tot l'aterratge si les condicions així ho obliguen.

En base a la taula mostrada amb anterioritat, a continuació s'explica concretament algunes de les operacions o tècniques en l'enlairament que si s'adopten poden aportar beneficis mediambientals:

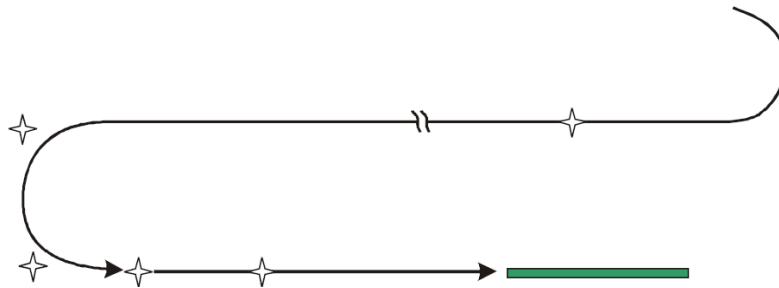
[B0-CDO o B0-05] Improved Flexibility and Efficiency in Descent Profiles – **Continuous Descent Operations** [33]

Consisteix en el descens continuat emprant el mínim de potència en els motors i de manera ideal la configuració de més baixa resistència de l'aeronau. Això permet reduir el consum en aquesta fase.

El camí òptim de CDO, incloent l'angle de descens es veuen influenciats per molts elements, com passa amb el cas del CCO. La meteorologia, el terreny, el trànsit aeri són alguns dels elements que poden restringir el desenvolupament d'aquest tipus d'operació de descens.

Existeixen dos mètodes pel disseny del procediment CDO. Aquests mètodes determinen la distància del vol fins al llindar de la pista.

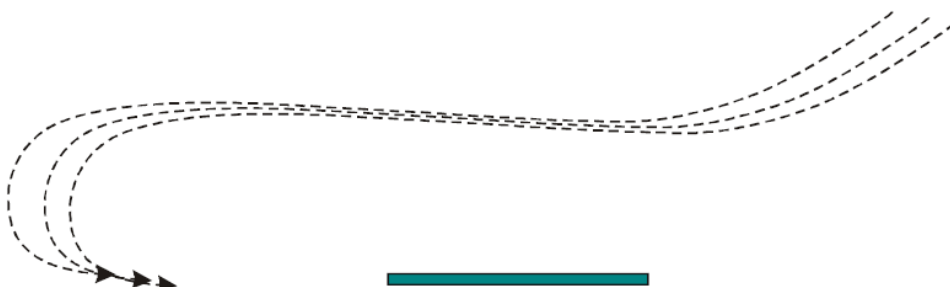
- Disseny de camí tancat (*Closed Path desing*) → Aquest tipus de disseny comprèn un recorregut fix i una distància específica fins a la pista coneguda abans de l'inici del procediment CDO. El disseny inclou des del STAR (*Standard Instrument Arrival*) i fases d'aproximació (inicial) del vol fins al FAF/FAP (*Final Approach Fix/Final Approach Point*).



Imatge 24. Representació gràfica del funcionament de la CDO amb disseny de camí tancat

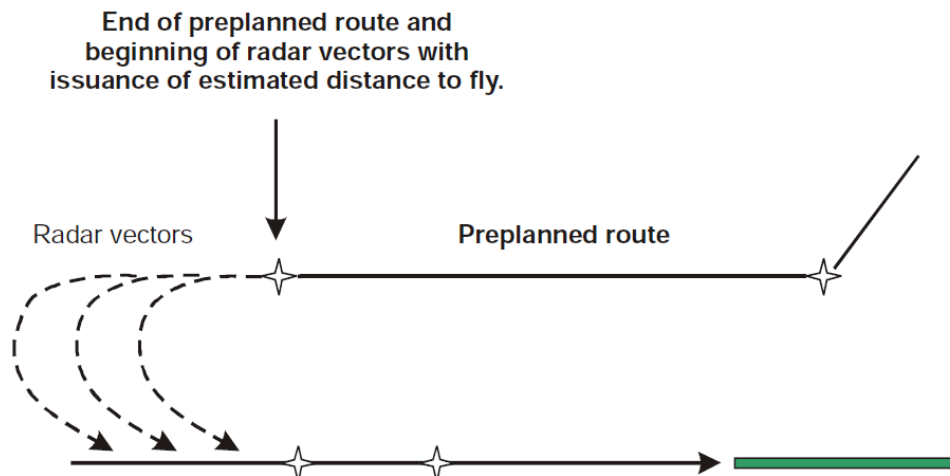
- Disseny de camí obert (*Open Path design*) → En aquest disseny una porció o tota la ruta consisteix en vectorització (És la forma més flexible de seqüenciar el trànsit aeri que arriba i mantenir la capacitat). Al contrari que en l'altre tipus de disseny, la distància específica fins al llindar de la pista es desconeix abans de l'inici de la maniobra CDO. El procediment finalitza abans del FAF/FAP.

- a) Procediment CDO vectoritzat: Se li proporciona al pilot una estimació de la distància fins al llindar de la pista. La autorització per iniciar el descens és a criteri del pilot.



Imatge 25. Representació gràfica del funcionament de la CDO amb disseny de camí obert i procediment vectoritzat

- b) Procediment CDO *to downwind*_{G24}: Aquesta operació es basa en una combinació d'una ruta fixada que s'entrega a l'aeronau a més d'un segment de vectorització, normalment com a una extensió del segment *downwind* fins al FAF/FAP.



Imatge 26. Representació gràfica del funcionament de la CDO amb disseny de camí obert i procediment downwind

[B0-APTA o B0-65] Optimisation of **approach procedures including vertical guidance**

L'ús dels procediments basats en *Performance Based Navigation*_{G25} (PBN) i del *Ground Based Augmentation System*_{G26} (GBAS o GLS) permet millorar la fiabilitat i la predictibilitat de les aproximacions per aterratges, a més també se'n veu beneficiat la seguretat i l'eficiència que permet reduir el consum de combustible en la fase de descens.

Per poder realitzar aquesta optimització de les aproximacions es necessiten les dades proporcionades pels sistemes de navegació per satèl·lit GNSS_{G27}, també del VNAV_{G28} i del SBAS_{G29}.

2. Visió i programes de futur a mitjà i llarg termini per afrontar el problema mediambiental i climàtic.

- OACI:

Pla Mundial de navegació aèria 2019-2033 [34]

Aquest document està concebut per poder donar suport i orientar de manera complementària en el progrés del transport aeri en els pròxims 15 anys. Cada tres anys la OACI publica un nou GANP (*Global Air Navigation Plan*) o Pla Mundial de navegació aèria.

El GANP és una important eina de planificació que permet establir prioritats mundials que impulsen l'evolució del sistema de navegació aèria mundial.

Està elaborat en col·laboració amb les parts interessades i en benefici de les mateixes. El GANP contribueix de manera vital a l'assoliment dels objectius estratègics de la OACI així com també realitza una funció important a l'hora de donar suport els Objectius de Sostenibilitat de les Nacions Unides.

Objectius estratègics de la OACI:

- Seguretat operacional
- Capacitat i eficiència de la navegació aèria
- Seguretat de l'aviació i facilitació
- Desenvolupament econòmic del transport aeri
- Protecció del medi ambient

Objectius de Sostenibilitat de les Nacions Unides (Agenda 2030):



Imatge 27. Objectius de desenvolupament sostenible de les Nacions Unides (Agenda 2030)

El contingut d'aquest Pla Mundial s'organitza en 4 nivells que facilita l'accés a la informació per als professionals.

MULTILAYER STRUCTURE OF THE GANP

Click a level to navigate



Imatge 28. Estructura per nivells del GANP

El nivell 1 d'estratègia mundial, va destinat als professionals encarregats de prendre decisions estratègiques d'alt nivell.



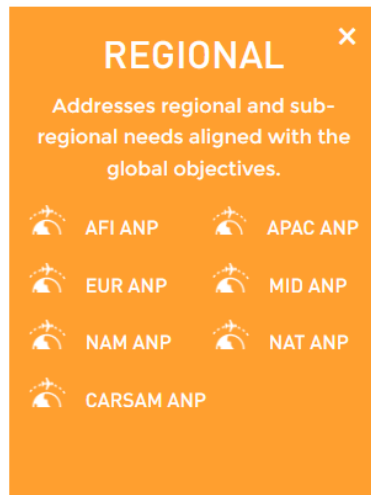
Imatge 29. Nivell 1 del GANP

El nivell 2 tècnic mundial, es conforma de dos elements importants, els elements constituïts basics (BBB) i les millores per blocs del sistema d'aviació (ASBU), tot això amb els seus marcs de rendiment corresponents que inclouen objectius de rendiment i indicadors clau de rendiment (KPIs_{G30}). Més endavant entrarem en més profunditat en aquest punt.



Imatge 30. Nivell 2 del GANP

Els dos nivells inferiors, Regional i Nacional garanteixen que el procés que va des de la concepció de les millores operacionals fins a la seva implementació sigui congruent i ofereixi a la comunitat una base comú para a la planificació de la implantació a curt i mitja termini.



Imatge 31. Nivell 3 del GANP



Imatge 32. Nivell 4 del GANP

La visió, les ambicions en termes d'eficiència, i el full de ruta conceptual del GANP es refereix directament al GATMOC (*Global Air Traffic Management Operational Concept*) o Concepte Operacional de Gestió del Trànsit Aeri Mundial. Aquest document es presenta com a una visió del concepte operacional comú per assolir un sistema de gestió del trànsit aeri (ATM) integrat, sostenible i funcional mundialment.

El GATMOC (*Doc. 9854 OACI*) inclou alguns manuals:

- Manual sobre requisits del sistema de gestió del trànsit aeri (*Doc. 9882 OACI*)
- Manual sobre l'actuació mundial del sistema de navegació aèria (*Doc. 9883 OACI*)

Pel que fa a la part més tècnica que al final resulta en els fets reals i no en tanta teoria, és la part que inclou els serveis, tecnologies i les operacions (tècniques i procediments).

El BBB o *Basic Building Block* descriu la base de qualsevol sistema consistent de navegació aèria. Bàsicament defineix els serveis essencials que es prestaran per l'aviació civil internacional en conformitat amb els estàndards de la OACI. Aquests serveis essencials es defineixen en les àrees d'aeròdroms, gestió del trànsit aeri, recerca i rescat, meteorologia i gestió de la informació aeronàutica.

A més de tot això, el BBB identifica els usuaris finals d'aquests serveis així com les infraestructures i tecnologies necessàries (comunicacions, navegació i vigilància, així com totes les infraestructures corresponents).

El BBB s'actualitzarà cada dos anys d'acord amb les modificacions de les disposicions de la OACI.

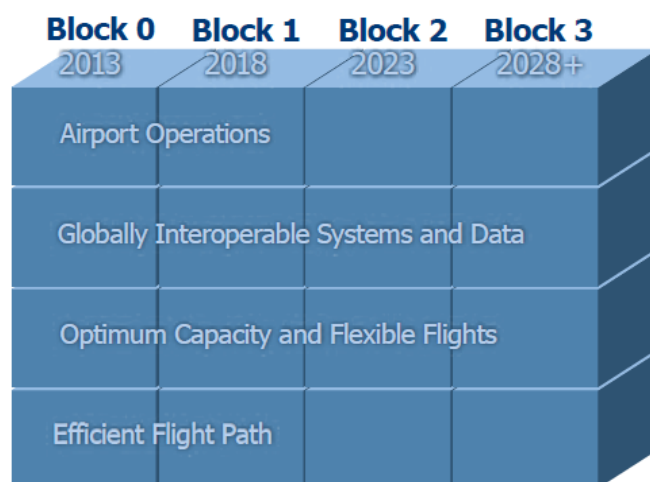
En el ASBU o *Aviation System Block Upgrade* es descriuen diferents conceptes d'operacions per les diferents àrees del sistema de navegació aèria (*ASBU Threats*) en intervals de temps de sis anys (*ASBU Blocks*). Aquests conceptes s'han traslladat en millores específiques operatives (*ASBU Elements*).

ASBU Threads:

- Information
 - *Meteorological Information* AMET
 - *Digital Aeronautical Information Management* DAIM
 - *Flight and Flow Information for a Collaborative Environment* (FF-ICE) FICE
 - *System Wide Information Management* SWIM
- Operational
 - *Airborne Collision Avoidance System* ACAS
 - *Airport Collaborative Decision Making* ACDM
 - *Improve arrival and departure operations* APTA
 - *Cooperative Separation* CSEP
 - *Improved operations through enhanced in-route trajectories* FRT0
 - *Global Aeronautical Distress and Safety System* GADS
 - *Network Operations* NOPS
 - *Improved access to optimum Flight levels in oceanic and remote airspace* OPFL
 - *Remote Aerodrome Air Traffic Services* RATS
 - *Improved traffic flow through runway sequencing* RSEQ
 - *Ground-based Safety Nets* SNET
 - *Surface operations* SURF
 - *Trajectory-based operations* TBO
 - *Wake Turbulence Separation* WAKE
- CNS Technology and services
 - *Surveillance Systems* ASUR
 - *Communication infrastructure* COMI
 - *ATS Communication service* COMS
 - *Navigation Systems* NAVS

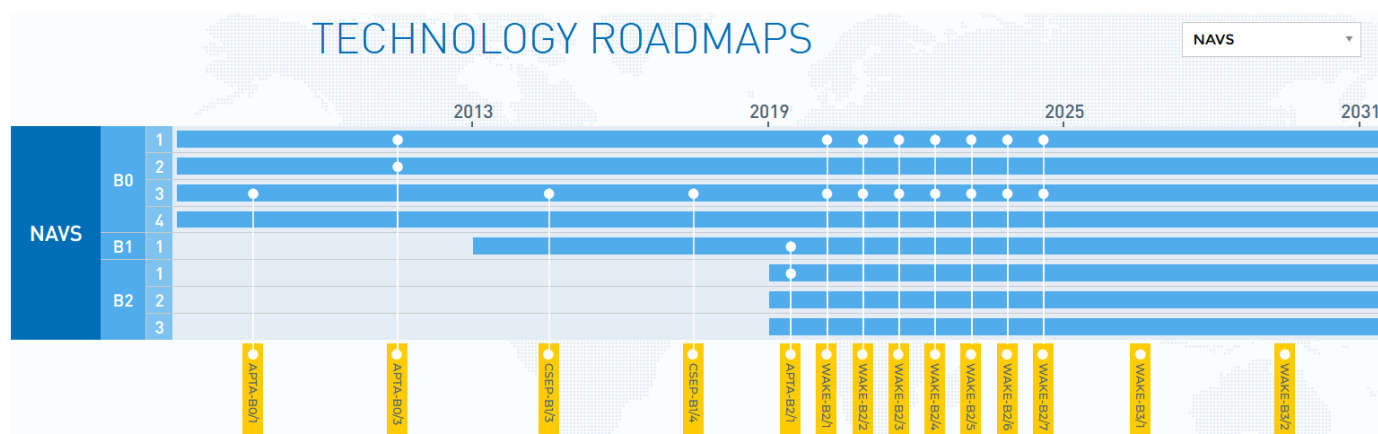
ASBU Blocks:

Performance Improvement Areas (PIAs)



Imatge 33. Dates previstes d'implementació dels diferents Blocks i PIAs (2)

A continuació es mostra un exemple de full de ruta, en aquest cas inclou tots els ASBU *Elements* que estan relacionats amb sistemes de navegació (NAVS).



Imatge 34. Dates previstes d'implementació dels diferents ASBU elements relacionats amb sistemes de navegació (NAVS) (2)

Si agafem un exemple, com l'element APTA i el WAKE veiem que són els elements que hem explicat en amb anterioritat en l'apartat 1.2 del present document.

Tot i això, en aquest apartat ens centrarem en el futur per tant hem de mirar el full de ruta marcat més enllà del 2019-20. En aquest cas tenim una quantitat important d'elements referent a la separació entre aeronaus per estela turbulenta (WAKE). Agafarem un element per veure un exemple concret. El WAKE-B2/7 *Advanced Wake Turbulence Separation (Time-based)*, referent a la separació mínima entre aeronaus per estela turbulenta basat en el temps, és un clar exemple d'un procediment que com tots els

elements relacionats amb separacions òptimes entre aeronaus generen beneficis evidents en termes de capacitat però també en termes d'eficiència ja que permeten evitar consums majors de combustible sovint evitables si es fes una millor gestió de l'ordre entre les aeronaus en les sortides o arribades. Com aquest, hi ha moltes tècniques o procediments que si es realitzen de manera òptima i eficient permeten reduir també les emissions contaminants.

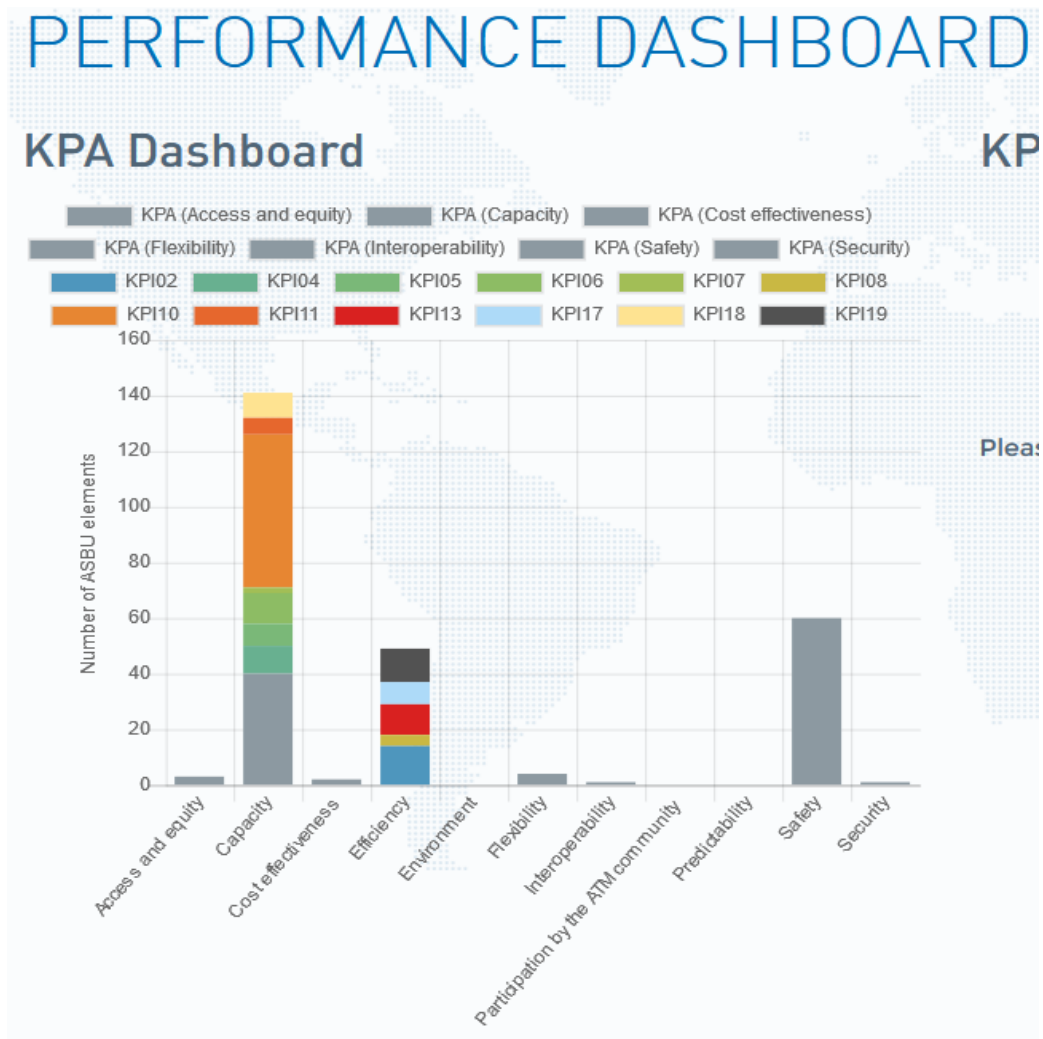
Malgrat això, el problema és sempre el mateix, en general es prioritza millorar la capacitat o l'eficiència de la manera que sigui possible sovint sense pensar massa en les emissions contaminants. A una aerolínia l'interessa tenir l'avió a l'aire la major quantitat de temps del dia i no esperant a la porta d'embarcament per fer una sortida òptima segons els tipus d'aeronaus i les seves corresponents esteles.

També hem de parlar dels objectius de rendiment, que es recull en un catàleg d'objectius de rendiment associats a una llista de indicadors de rendiment clau o KPIs.

Els objectius de rendiment busquen aconseguir millores en els següents punts:

- Eficiència
- Capacitat
- Predictibilitat
- Safety
- Security
- Medi Ambient
- Rentabilitat
- Interoperabilitat
- Accés i equitat
- Participació de la comunitat ATM
- Flexibilitat

Aquest gràfic mostra la distribució d'indicadors clau en els diferents objectius de rendiment anteriorment esmentats. Com podem veure els punts de Capacitat, Eficiència i Safety. En concret en Capacitat i Eficiència tenim gran varietat de KPIs concrets mentre que en Safety només podem apreciar indicadors de rendiment d'àrea o KPAs.



Gràfic 15. Distribució d'indicadors clau (KPIs) i d'àrea (KPAs) segons el tipus d'objectiu

En destaca el KPI10 per sobre de la resta, amb diferència, el qual correspon a l'indicador clau: *Airport peak throughput* o Màxim rendiment de l'aeroport. Es mesura en Nombre de sortides / hora, Nombre d'arribades / hora, Nombre total d'operacions / hora o d'altres possibles variants. L'indicador ens dona una idea de quina és la franja horària més congestionada de l'aeroport per poder tenir una idea de la capacitat d'aquest i de si és necessari prendre mesures al respecte per millorar la situació.

Com aquest hi ha un total de 19 KPIs que ajuden a centrar-se en la informació realment clau per la gestió de la navegació aèria en multitud de punts durant el procés.

GFAAF Global Framework for Aviation | 2050 Vision for Sustainable Aviation Fuels [35]

El GFAAF_{G31} és una plataforma i base de dades per compartir activitats, desenvolupaments i documentació referent als combustibles alternatius i sostenibles en l'aviació.

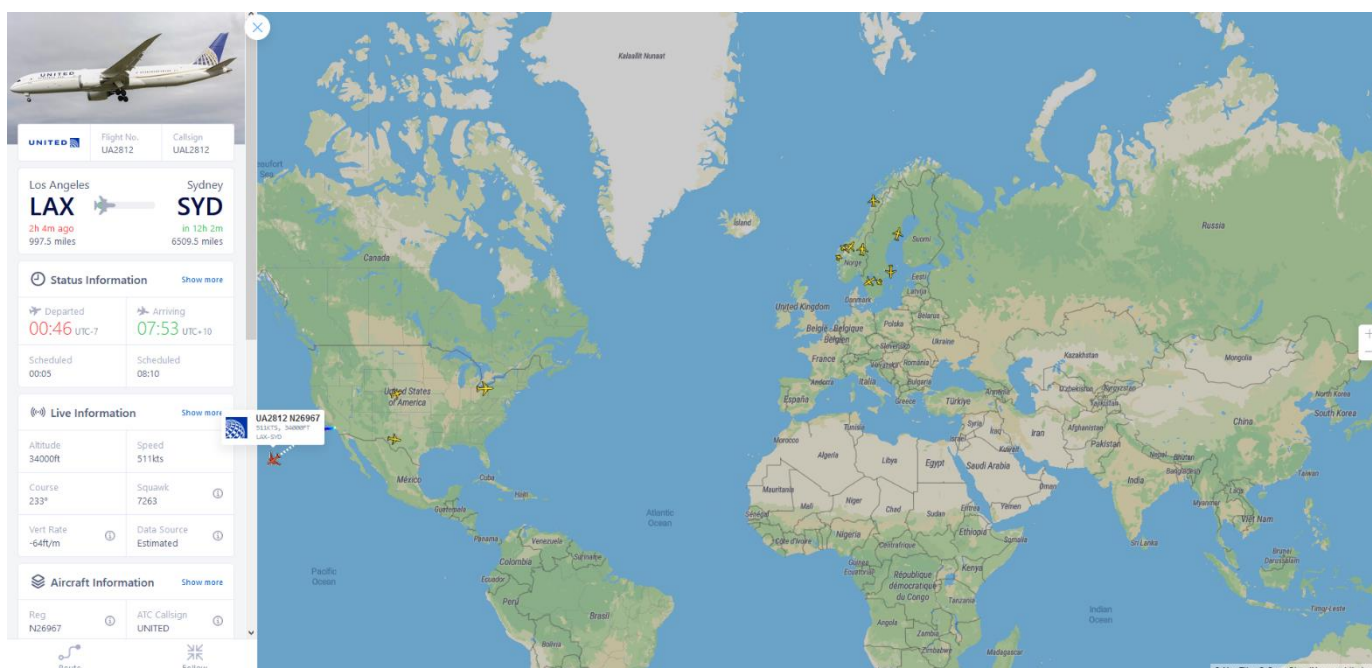
Com hem analitzat amb anterioritat en aquesta memòria, la situació pel que fa a l'ús de combustibles alternatius en l'aviació encara està lluny de ser una acció realment útil ja que molt pocs aeroports ofereixen la possibilitat de omplir els dipòsits amb aquest tipus de combustibles.

Aquests són els 7 aeroports que donen suport al subministrament de combustible alternatiu de manera regular, així com les aerolínies que tenen aeronaus preparades per això.

Airline	Traffic Type	Airport
United Airlines	Departures	Los Angeles International Airport
KLM to Amsterdam		
Lufthansa	Departures	Oslo Airport
SAS		
KLM / KLC		
SAS	Departures	Stockholm Arlanda Airport
KLM		
All Airlines	Departures	Bergen Airport
KLM	Arrivals	Växjö Småland Airport
KLM	Departures	San Francisco Airport
SAS		
Finnair		
BRA	Departures	Halmstad City Airport

Taula 7. Aeroports que donen suport al subministrament de combustible alternatiu i aerolínies que se'n beneficien

Destacar també que la plataforma GFAAF ofereix públicament un rastrejador de vols en directe que permet veure quins vols en temps real estan sent operats amb combustibles sostenibles.



Imatge 35. Captura de pantalla del rastrejador de vols en temps real d'aeronaus operades mitjançant combustibles sostenibles

Com podem veure les dades no són molt bones, tot i això, la organització vol intentar conscienciar més als Estats membres dels beneficis de canviar els combustibles tradicionals per els alternatius i sostenibles. Això no és fàcil ja que la OACI és conscient de que hi ha una necessitat de desenvolupar i desplegar aquests combustibles d'una manera econòmicament viable, social i ambientalment acceptable. En la segona conferència sobre l'aviació i els combustibles alternatius CAAF/2 (2017) es va proposar una visió de cara al 2050, com es pot veure a continuació: [36]

	Short-term goal (2025)	Mid-term waypoint (2040)	ICAO VISION 2050
SAF use in international aviation (Mt/year)	5	128	285
SAF share in international aviation fuel demand	2%	32%	50%
% CO₂ reduction from SAF use in international aviation	0.9%	12%	33%

SAF: Sustainable Aviation Fuel

Taula 8. Objectius a curt-mitjà termini + Visió de la OACI 2050 pel que fa a l'ús de combustibles sostenibles

Segons les dades, si el 50% dels vols es realitzessin mitjançant aquest tipus de combustibles s'aconseguiria reduir fins a un 33% el CO₂ provinent de l'aviació.

A més, el mateix 2017 l'organització va distribuir una guia sobre els combustibles sostenibles en l'aviació. Aquesta guia té com a objectiu servir als Estats com a document des d'on animar a començar la producció o ús d'aquests combustibles en l'aviació. Aquest document mostra les avantatges, però també les pedres en el camí que no són poques, però que com qualsevol canvi requereix de sacrifici. [37]



Imatge 36. Portada de la guia sobre combustibles sostenibles en l'aviació (OACI)

CORSIA [38][39]

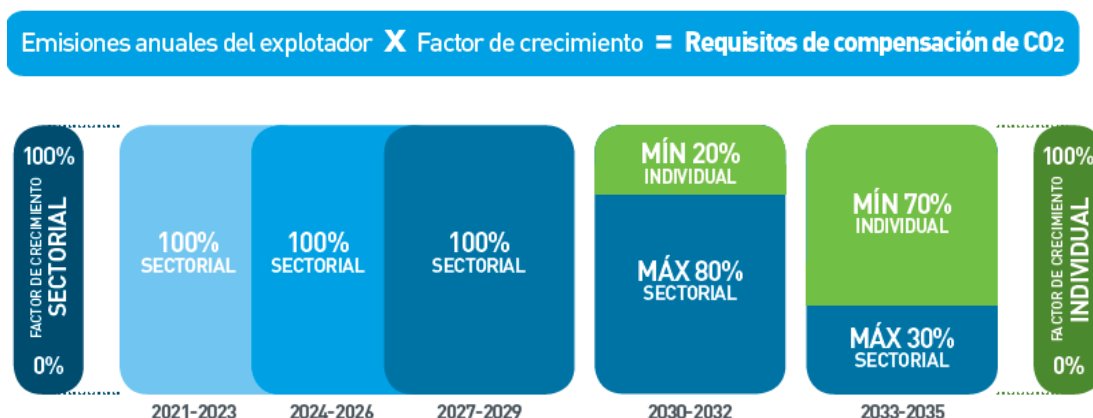
El CORSIA o *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* es tracta d'un esquema global de MBM o *Market-Based Measure* que té la intenció d'ajudar a complir amb l'objectiu aspiracional d'aconseguir un creixement neutral de CO₂ per als vols internacional a partir del 2020, això es realitzarà a partir de compensacions per les emissions de CO₂, mitjançant la compra i cancel·lació d'unitats d'emissions del mercat mundial del CO₂ per part dels explotadors d'avions.

Tots els Estats membres de la OACI dels quals els seus explotadors d'avions efectuen vols internacionals han de vigilar, notificar i verificar (MRV) les emissions de CO₂ d'aquests vols tots els anys a partir del 2019, independentment de que acabin participant o no en el programa CORSIA.

Els Estats membres de la OACI que participen en el CORSIA han d'assegurar-se de que els seus explotadors d'avions compleixen els requisits de compensació del CORSIA cada tres anys, a més del MRV anual de CO₂.

D'acord amb la resolució de l'assemblea A39-3 (2016), el nivell mitjà d'emissions de CO₂ de l'aviació internacional entre 2019-2020 representa la base per un creixement neutral en CO₂ a partir del 2020, contra el qual es compararan les emissions del següents anys. En qualsevol any a partir del 2021, quan les emissions de CO₂ de l'aviació internacional superin les emissions de referència (2019-2020), aquesta diferència representa els requisits de compensació del sector per aquell any.

Els requisits de compensació de CO₂ depenen del factor de creixement que en aquest cas ve calculat per la pròpia OACI, per tant la formula és la següent:



Imatge 37. Càlcul dels requisits de compensació de CO₂ pel programa CORSIA (OACI)

Després de calcular els requisits de compensació que s'atribueixen a un explotador d'aeronaus, aquest ha de notificar el consum de combustible sostenible del període de compliment. L'estat dedueix els beneficis pel consum d'aquests combustibles alternatius i informa dels requisits finals de compensació al explotador per el període de compliment de 3 anys. L'explotador compra i cancel·la unitats d'emissions equivalents als seus requisits finals de compensació per el període de compliment.

Finalment l'exploitador emet un informe de cancel·lació de les unitats d'emissió validat per l'Estat, que verifica i notifica a la OACI.

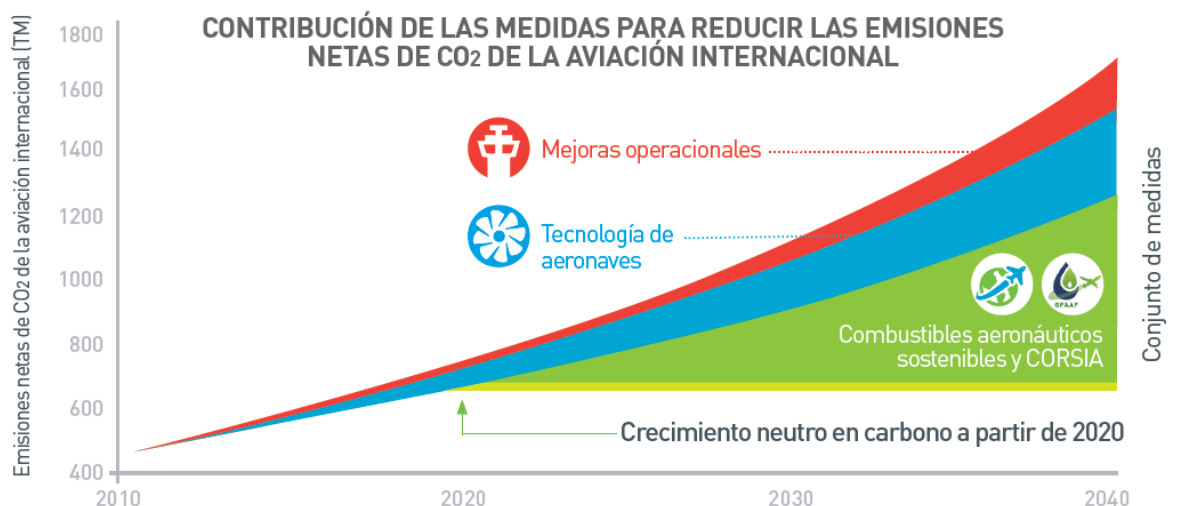
El programa CORSIA s'implantarà en diverses fases, començant per la participació voluntària dels Estats, seguit de la participació de tots els Estats exceptuant aquells exempts dels requisits de compensació. Les fases són les següents:



Imatge 38. Fases d'implantació del programa CORSIA per dates

- La fase pilot (2021-2023) i la primera fase (2024-2026) s'aplicaran als Estats que s'hagin ofert voluntaris per participar.
- La segona fase (2027-2035) s'aplicarà a tots els Estats que tenen participació individual de les activitats d'aviació internacional en RTKs en l'any 2018 per sobre del 0,5% del total de RTKs o que tinguin una participació acumulada en la llista d'Estats des de la major a la menor quantitat de RTKs que assoleixi el 90% del total. Queden exclosos els països menys desenvolupats (LDC), petits Estats insulars en desenvolupament (SIDS) i països en desenvolupament sense litoral (LLDC), a menys que es presentin com a voluntaris en la fase.

Els RTKs o *Revenue Tonne Kilometers* són els ingressos per tona per km i és la capacitat utilitzada (o venuda) per passatgers i càrrega expressada en tones mètriques, multiplicada per la distància recorreguda. Podríem dir que els nivells de RTKs corresponen al **volum de l'activitat de transport aeri**. Els RTKs d'un Estat representa els nivells totals de RTKs de tots els operadors d'aeronaus registrats en aquell país.



Gràfic 16. Predicció futura sobre la contribució de cada una de les mesures per reduir les emissions de CO2

Plataforma d'innovació d'aeronaus elèctriques i híbrides (E-HAPI) [40]

A continuació, es mostra una taula amb tots els projectes existents i dels que es té constància, referents a la construcció d'aeronaus elèctriques i/o híbrides.

Project	Type	Category	MTOW (KG)	Pax	Target Entry in Service	Cruise altitude (FT)	Cruise Speed (kt)	Payload (KG)	Range (KM)	Engine power (kW)
Airbus/Siemens/Rolls Royce E-Fan X	Hybrid-electric	Large commercial aircraft	N.A.	100	2030	N.A.	N.A.	6650	N.A.	2000
NASA X-57 Maxwell	Electric	General Aviation/recreational aircraft	N.A.	2	2020-2021	9000	149.464	N.A.	160	60 +10
Zunum Aero ZA10	Hybrid-electric	business aircraft	5216.3	12	2020	max. 25,000	295	1134	1127	1000+500
Uber Elevate	Electric	VTOL	N.A.	up to 4	2023	1,000 - 2,000	130	498.96	97	N.A.
Lilium	Electric	VTOL	639.6	5	2025	3300	160	200	300	320
Pipistrel Alpha Electro	Electric	General Aviation/recreational aircraft	549.8	2	2018	N.A.	85	200	600	60
Kitty Hawk Cora	Electric	VTOL	N.A.	2	2022	up to 3000	95	N.A.	100	N.A.
Kitty Hawk Flyer	Electric	VTOL	N.A.	1		10	17	N.A.	10.7	
Airbus (A³) Vahana	Electric	VTOL	725.7	1	2020	N.A.	95	113	100	360
Airbus City Airbus	Electric	VTOL	2199.2	4	2023	N.A.	59	N.A.	96	8*100
Airbus/Audi Pop up	Electric	VTOL	N.A.	2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	130	N.A.
Boeing Aurora eVTOL	Electric	VTOL	798.3	2	2020	N.A.	48.6	N.A.	N.A.	N.A.
Ehang 184	Electric	VTOL	N.A.	1	N.A.	9843	54	100	16	106
Volocopter 2X	Electric	VTOL	450	2	2018	6562	27	160	27	N.A.
Eviation Alice	Electric	business aircraft	6349.8	9	2021	32 808	240	1250	1046	N.A.
Wright Electric/Easy Jet	Electric	Large commercial aircraft	N.A.	at least 120	2027	N.A.	N.A.	N.A.	539	3*260
Extra aircraft/ Siemens Extra 330LE	Electric	General Aviation/recreational aircraft	1000.1	2	2016	9843	184 (top)	N.A.	N.A.	260
Magnus Aircraft/Siemens eFusion	hybrid diesel-electric	General Aviation/recreational aircraft	600.1	2	N.A.	N.A.	100-130	N.A.	1100	60
Solar Impulse 2	Electric	General Aviation/recreational aircraft	N.A.	1	N.A.	27887	38	N.A.	N.A.	N.A.
Bye Aerospace Sun Flyer 2	Electric	General Aviation/recreational aircraft	861.8	2	N.A.	N.A.	55-135	363	N.A.	90

Ampaire TailWind	Electric	business aircraft	N.A.	9	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	161	N.A.
Embraer Dreammaker	Electric	VTOL	N.A.	N.A.	2024	2,600-3,300	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Bell Nexus	Electric	VTOL	N.A.	4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Boeing Sugar VOLT	Hybrid-electric	Large commercial aircraft	N.A.	135	2030-2050	N.A.	N.A.	N.A.	6482	N.A.
DigiSky SkySpark	Electric	General Aviation/ recreational aircraft	N.A.	2	N.A.	N.A.	162 (top)	N.A.	500	65
Hamilton aEro	Electric	General Aviation/ recreational aircraft	420	1	2017	N.A.	92	N.A.	160	80
Dufour aEro 2	Electric	VTOL	N.A.	2	N.A.	N.A.	173	N.A.	120	N.A.
PC Aero Elektra One Solar	Electric	General Aviation/ recreational aircraft	300	1	N.A.	19600	76	100	600	32
PC Aero Elektra Two Solar	Electric	General Aviation/ recreational aircraft	450	2	N.A.	65616	37.8	200	almost unlimited	23
PC Aero Elektra Solar Trainer	Electric	General Aviation/ recreational aircraft	600	2	N.A.		76.6	260	400	32
Volta Volare DaVinci	Hybrid-electric	General Aviation/ recreational aircraft	N.A.	2+2	2017	24 000	160	N.A.	N.A.	N.A.
Yuneec International E430	Electric	General Aviation/ recreational aircraft	430	2	N.A.	9840	52	N.A.	N.A.	N.A.

Taula 9. Projectes existents referents a la construcció de vehicles aeris elèctric o híbrids

En general, com es pot apreciar, la gran majoria es tracta de VTOLs o aeronaus de poques dimensions i pocs passatgers destinats a vols recreatius o bé amb l'objectiu de fer de taxis aeris.

A continuació, s'exposen alguns exemples de vehicles aeris més destacats d'entre tots de la llista anterior.

Els prototips d'Airbus no s'expliquen en aquest apartat, més endavant hi ha un apartat destinat íntegrament als projectes i intencions de futur de l'empresa Airbus.

Uber Elevate | Uber Air: Aquest prototip de eVTOL (*Electric Vertical Take-Off and Landing*) té la intenció de ser utilitzat com a taxi aeri en les grans ciutats per ajudar a descongestionar el trànsit terrestre. Està sent desenvolupat per Bell Helicopters, Embraer i Pipistrel. La idea és crear una xarxa de *Skyports* o estacions en les ciutats exclusives pels seus taxis voladors.



Imatge 39. Model 3D del vehicle prototip tipus eVTOL "Uber Elevate"



Imatge 40. Model 3D d'un Skyport o estació de taxis aeris

Wight Electric/Easy Jet: L'any 2017 l'aerolínia EasyJet va anunciar que es trobava en fase de desenvolupament d'una aeronau totalment elèctrica de fins a 180 seients juntament amb la recent start-up Wright Electric, que ha nascut amb l'objectiu de convertir-se en fabricant d'aeronaus elèctriques. Aquest prototip anomenat "*Wright 1*" entraria en servei l'any 2027.



Imatge 41. Model 3D de l'aeronau elèctrica "Wright 1"

Boeing Sugar Volt: Es tracta d'un prototip d'aeronau híbrida capaç de transportar fins a 135 passatgers. La data de finalització d'aquest projecte està poc clara i si finalment seguís endavant podria ser entre el 2030-2050.



Imatge 42. Model 3D de l'aeronau híbrida "Sugar Volt"

Zunum Aero ZA10: Es tracta d'una aeronau híbrida de capacitat de fins a 12 passatgers, està pensada per a un ús limitat a viatges de negocis.



Imatge 43. Model 3D de l'aeronau híbrida "ZA10"

- Comissió Europea i Eurocontrol

Single European Sky – European ATM Master Plan (SESAR) [41]

El concepte de *Single European Sky* o Cel Únic Europeu és una iniciativa de la Unió Europea de manera conjunta i amb el suport d'Eurocontrol que es va iniciar l'any 2004. Té la intenció de reformar el sistema de gestió del trànsit aeri d'Europa a través d'una sèrie d'accions classificades en quatre nivells diferents (institucional, operacional, tecnològic i control, i supervisió) tot això amb l'objectiu de satisfer les necessitats futures de l'espai aeri Europeu en termes de capacitat, seguretat, eficiència i **impacte mediambiental**. Per aconseguir complir amb tot això, existeixen 4 objectius d'alt nivell:

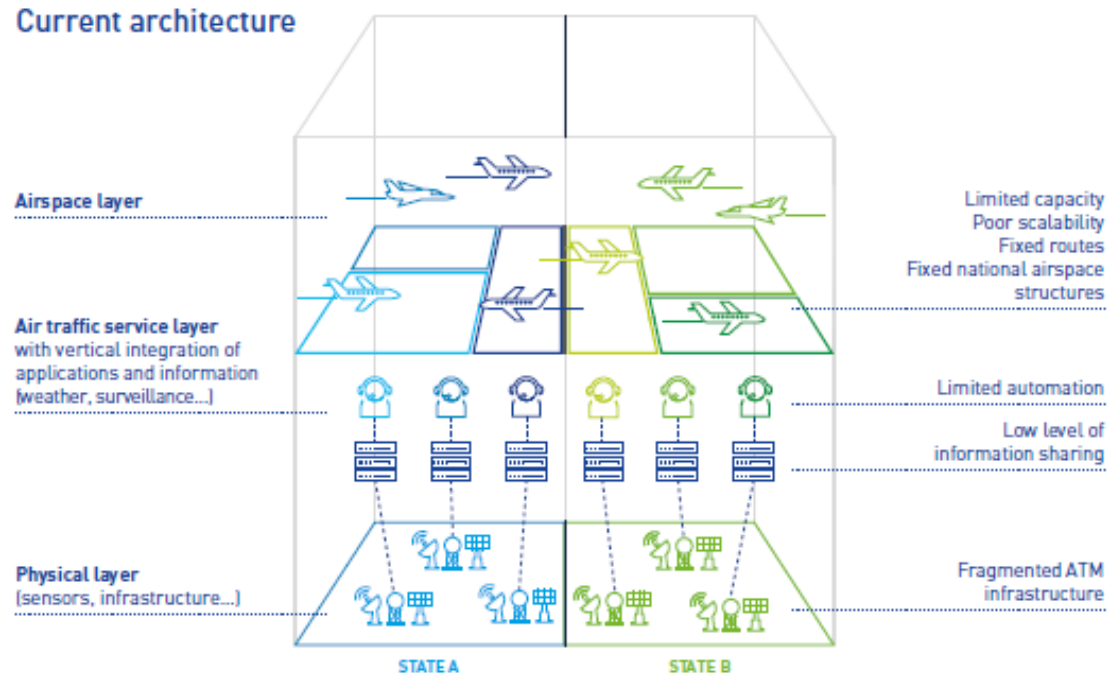
- Aconseguir augmentar la capacitat en 3 vegades l'actual que també reduirà els retards tant en terra com en l'aire.
- Millorar el safety en un factor de 10.
- Reduir un 10% els efectes que provoquen els vols en el medi ambient.
- Proveir serveis ATM als usuaris de l'espai aeri a un cost d'un 50% menor.

Dintre del marc de l'estratègia del *Single European Sky* (SES), el *European Air Traffic Management (ATM) Master Plan* és l'eina de planificació principal per la modernització de la gestió del trànsit aeri a Europa. Bàsicament defineix les prioritats pel que fa al desenvolupament i implementació necessàries per la visió del *Single European Sky ATM Research* (SESAR).

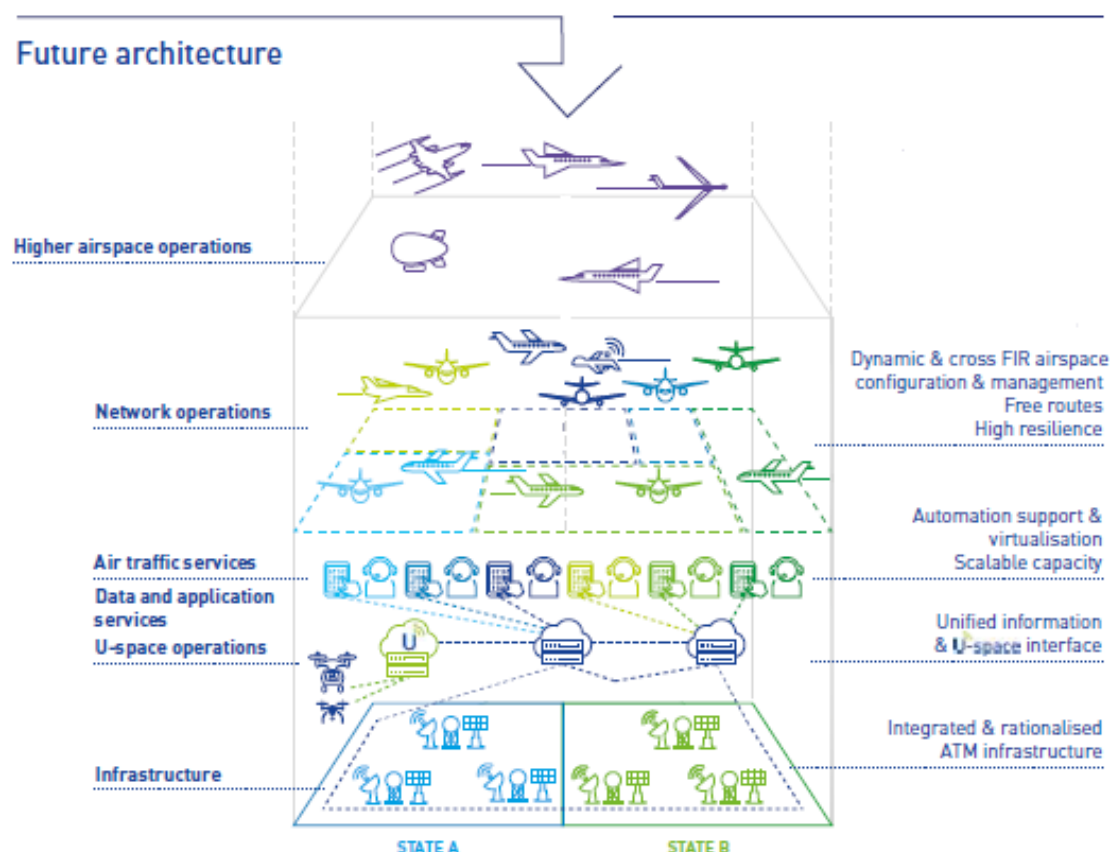
Els problemes mediambientals sorgeixen de les previsions d'un creixement molt important en el volum de trànsit aeri. El projecte SESAR dona suport per aconseguir l'objectiu de les emissions de CO2 neutres per l'any 2050. Aquest suport es donarà a través de solucions que contribueixin a l'eliminació de les ineficiències ambientals que sorgeixen de la operativa aèria habitual a tots els nivells.

A continuació es presenta la idea de futur que es pretén arribar aconseguir a través d'aquest projecte.

Current architecture



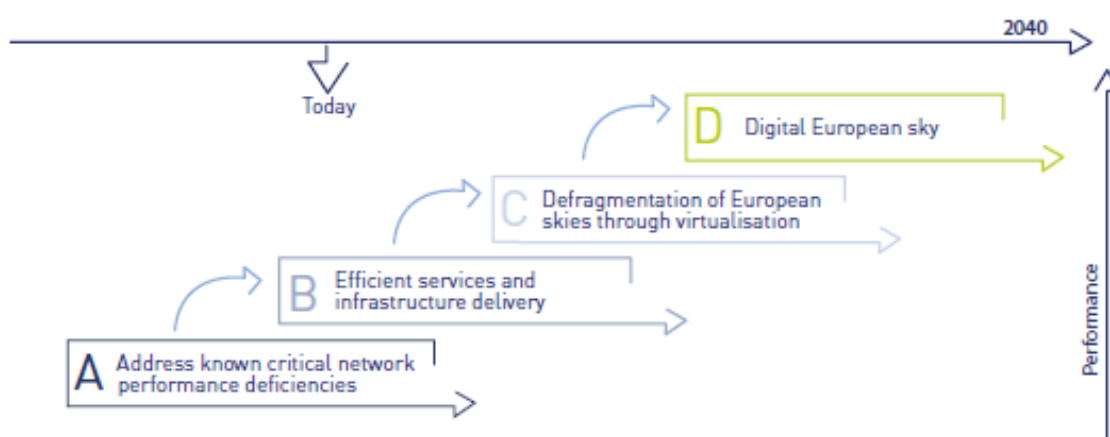
Future architecture



Imatge 44. Evolució del cel aeri Europeu, objectius del Single European Sky

Més avall trobem el *road-map* del SESAR de cara als pròxims anys de manera general, presentant les 4 fases d'implementació fins al 2040. Al final de la pròxima pàgina es pot veure aquest full de ruta de manera més detallada.






FOUR-PHASE APPROACH TO IMPROVEMENTS



Imatge 45. Road-map d'implantació en 4 fases del programa SESAR fins al 2040

La reducció en les emissions de CO₂ és directament proporcional a la reducció mitjana en el consum de combustible per vol. Recordem que l'objectiu d'alt nivell del SES és reduir fins a un 10% els efectes que els vols provoquen en el medi ambient.

PERFORMANCE AMBITIONS FOR 2035 FOR CONTROLLED AIRSPACE

Key performance area	SES high-level goals 2005	Key performance indicator	Performance ambition vs. baseline			
			Baseline value (2012)	Ambition value (2035)	Absolute improvement	Relative improvement
 Capacity	Enable 3-fold increase in ATM capacity	Departure delay ¹ , min/dep	9.5 min	6.5-8.5 min	1-3 min	10-30%
		IFR movements at most congested airports ² , million	4 million	4.2-4.4 million	0.2-0.4 million	5-10%
		Network throughput IFR flights ³ , million	9.7 million	~15.7 million	~6.0 million	~60%
		Network throughput IFR flight hours ³ , million	15.2 million	~26.7 million	~11.5 million	~75%
 Cost efficiency	Reduced ATM services unit costs by 50% or more	Gate-to-gate direct ANS cost per flight ¹ , EUR(2012)	EUR 960	EUR 580-670	EUR 290-380	30-40%
		Gate-to-gate fuel burn per flight ² , kg/flight	5280 kg	4780-5030 kg	250-500 kg	5-10%
 Operational efficiency		Additional gate-to-gate flight time per flight, min/flight	8.2 min	3.7-4.1 min	4.1-4.5 min	50-55%
		Within the: Gate-to-gate flight time per flight ³ , min/flight	(111 min)	(116 min)		
 Environment	Enable 10% reduction in the effects flights have on the environment	Gate-to-gate CO ₂ emissions, tonnes/flight	16.6 tonnes	15-15.8 tonnes	0.8-1.6 tonnes	5-10%
		Accidents with direct ATM contribution ⁴ , #/year	0.7 (long-term average)	no ATM related accidents	0.7	100%
 Security	Improve safety by factor 10	ATM related security incidents resulting in traffic disruptions	unknown	no significant disruption due to cyber-security vulnerabilities	unknown	-

1 Unit rate savings will be larger because the average number of Service Units per flight continues to increase.

2 "Additional" means the average flight time extension caused by ATM inefficiencies.

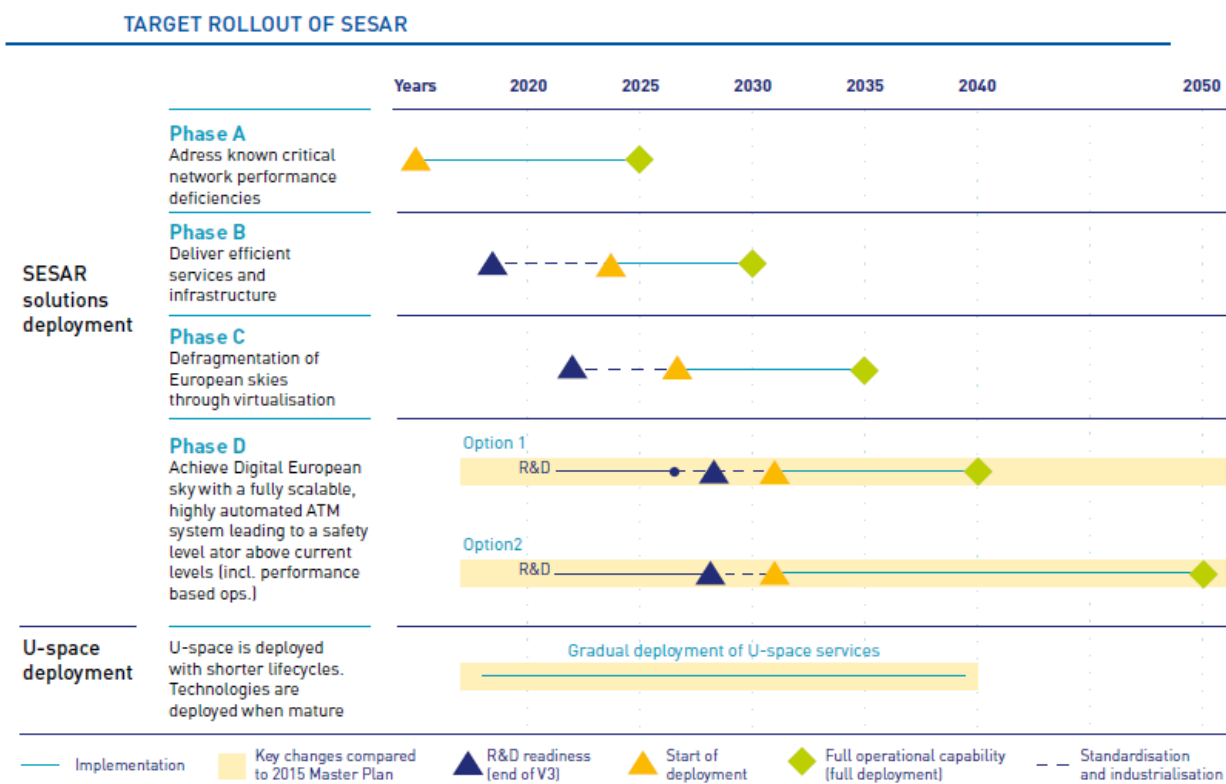
3 Average flight time increases because the number of long-distance flights is forecast to grow faster than the number of short-distance flights.

4 All primary and secondary (reactionary) delay, including ATM and non-ATM causes.

5 Includes all non-segregated unmanned traffic flying IFR, but not the drone traffic flying in airspace below 500 feet or the new entrants flying above FL 600.

6 In accordance with the PRR definition: where at least one ATM event or item was judged to be DIRECTLY in the causal chain of events leading to the accident. Without that ATM event, it is considered that the accident would not have happened.

Taula 10. Ambicions de rendiment d'un futur Single European Sky (2035)



Taula 11. Fases d'implantació del programa SESAR més detallades

EU Emissions Trading System (EU ETS) [42] [43]

Creat al 2005, es tracta d'un sistema "cap and trade" o limitació i comerç. Limita les emissions d'efecte hivernacle de més de 11.000 instal·lacions de gran consum d'energia (centrals elèctriques, plantes industrials, etc.) així com també de les aerolínies que operen entre els països de la UE a més d'Islàndia, Liechtenstein i Noruega. Cobreix al voltant del 45% del total d'emissions de gasos d'efecte hivernacle de la Unió Europea.

El funcionament és semblant al de l'anteriorment anomenat CORSIA, dintre dels límits establerts, les empreses reben o compren drets d'emissió amb els quals poden comerciar. Al final de cada any les empreses han d'entregar suficients drets d'emissió per cobrir totes les seves emissions, en cas contrari reben sancions importants.

Si una empresa un any ha aconseguit reduir les seves emissions pot conservar els seus drets d'emissió sobrants per cobrir necessitats futures o bé vendre-ho a altres empreses que ho requereixin.

S'espera que al 2030 les emissions dels sectors subjectes al règim seran un 43% més baixes respecte del 2005.



Imatge 46. Fases d'implantació del EU ETS

Actualment ens trobem acabant la fase 3.

Per a la fase 4 que s'aplicarà a partir de 2021 s'espera augmentar el ritme de reduccions anuals de drets d'emissions al 2,2%, mantenir l'assignació gratuïta de drets d'emissió com a garantia de competitivitat internacional dels sectors industrials, exposats a un risc de fuga de carboni, i ajudar a la indústria i al sector de l'energia a afrontar els reptes de innovació i inversió que suposa la transició cap una economia hipocarbònica mitjançant certs mecanismes de finançament.

En el cas de la majoria dels operadors aeronàutics la assignació dels drets d'emissió és gratuïta, en funció d'un punt de referència (que s'expressa en Tones de CO₂ per cada tona-kilòmetre). El 15% dels drets d'emissió són subhastats.

• Airbus

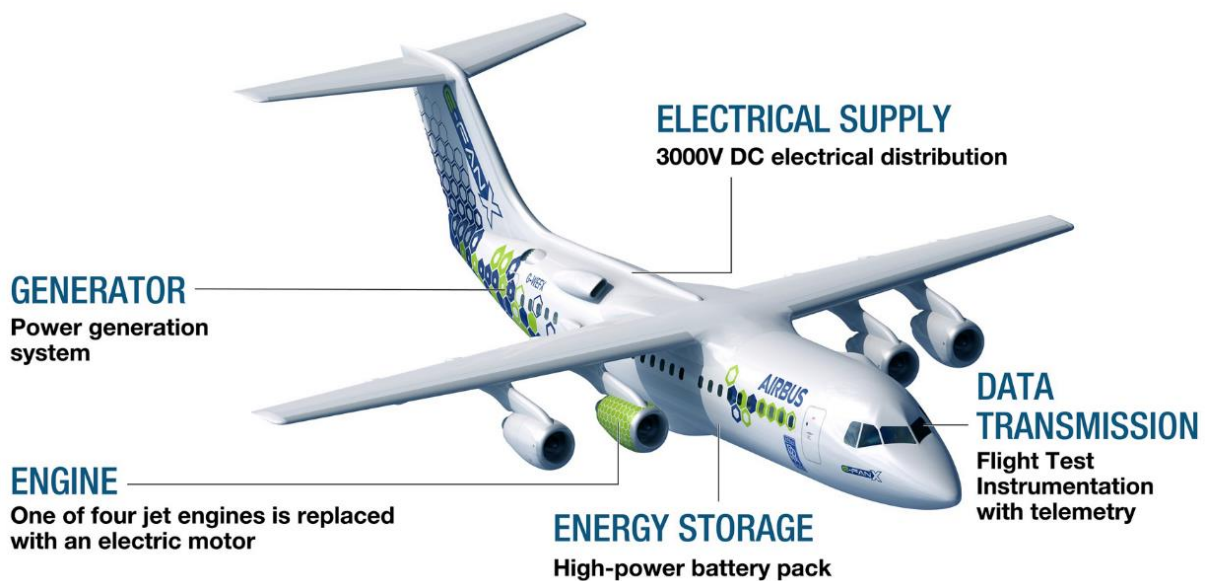
E-Fan X [44]

La pròpia empresa defineix aquest projecte com la major fita en el viatge cap a la descarbonització d'Airbus.

Es tracta d'una aeronau híbrida anunciada l'any 2017 com a projecte sostenible per contribuir en la visió que la Comissió Europea presenta en el *Flightpath 2050*.

En aquest projecte hi col·laboren també Rolls-Royce plc i Siemens.

Es tracta del model d'aeronau BAe 146 modificat, un dels quatre *turbofans* es va reemplaçar per un motor elèctric de Siemens de 2 MW de potència equivalents a uns 2.700 cavalls. La previsió és de reemplaçar un segon *turbofan* per un altre motor elèctric.



Imatge 47. Model 3D del Airbus "E-Fan X"

Estava previst un experiment per l'abril de 2020 abans de que es fes el primer vol real al 2021. Tot i això, degut als recents esdeveniments referents a la pandèmia mundial de COVID-19 i les conseqüències econòmiques que comporta, Airbus juntament amb Rolls-Royce ha decidit **cancel·lar el projecte del E-Fan X definitivament**. Després de que Siemens va decidir retirar-se del projecte, la directora de tecnologia d'Airbus ha anunciat la decisió. També ha deixat clar que han après molt d'aquest projecte i que continuaran treballant amb nous projectes futurs per aconseguir reduir les emissions de CO2 però que ara per ara necessiten reenfocar els esforços.

City Airbus [45]

És un vehicle aeri totalment elèctric, amb capacitat de fins a 4 persones i de perfil eVTOL. El vehicle serà controlat de manera totalment remota i esta pensat per ser utilitzat com a taxi aeri. La certificació i la introducció comercial esta prevista pel 2023.



Imatge 48. Model 3D del eVTOL "City Airbus"

3. On i com es pot actuar per a reduir les emissions en la navegació aèria. Procés de *taxiing*.

3.1. Context i dimensió del problema

Taxi time o temps de rodatge (*taxiing*)

És la quantitat total de temps que una aeronau es troba en moviment per la superfície de l'aeroport (*taxiways* o carrers de rodatge).

Taxi-in time o temps d'entrada de rodatge

És el període de temps durant el qual una aeronau abandona la pista i entra a la zona de rodatge en direcció cap a la zona desembarcament. Durant aquest temps l'aeronau està supervisada en tot moment per l'ATC (*Air Traffic Control*) de l'aeroport, és a dir, la torre de control.

Taxi-out time o temps de sortida de rodatge

És el període de temps durant el qual una aeronau abandona la zona d'embarcament i es dirigeix cap a la pista per iniciar l'enlairament. Durant aquest temps l'aeronau està supervisada en tot moment per l'ATC (*Air Traffic Control*) de l'aeroport, és a dir, la torre de control.

Per fent-se una idea del que consumeix una aeronau en proporció al total durant el procés de *taxiing*, hem obtingut dades de consum referents a un *Boeing 777*_{G32} que ens dona unes dades aproximades tenint en compte que existeixen diferents versions de l'aeronau: [46]

Facts about consumption (B777)

APU	Ground	Flight
3.9 _{Kg} Fuel	23.3 _{Kg} Fuel	113.3 _{Kg} Fuel
12.3 _{Kg} CO ₂	73.4 _{Kg} CO ₂	356.9 _{Kg} CO ₂
per min	per min	per min

Imatge 49. Dades de consum d'un Boeing 777

APU recordem que correspon a la unitat auxiliar de potència que l'avió utilitza per iniciar tots els sistemes. Com veiem, la quantitat de combustible cremat i la contaminació associada és significativa pel que fa a les operacions en terra, simplement per fer el *taxiing*.

Si tenim en compte les dades de la OACI de 26 minuts de temps d'operació en *taxi/ground idle* per vol, és a dir, el total del temps en que l'aeronau està fent *taxiing*. Llavors podem fer un càlcul: $23.3\text{Kg} \cdot 26\text{min} = 605,8 \text{ Kg}$ de consum de combustible per 26min de temps total en terra en l'etapa completa d'un vol en un *B777*. Evidentment això són estimacions, ni sempre seran 26min ni sempre un *B777* consumirà 23,3Kg/min tot són mitjanes, s'ha de tenir en compte molts factors com el tipus d'aeronau, versió, condicions atmosfèriques, congestió en els aeroports, etc.

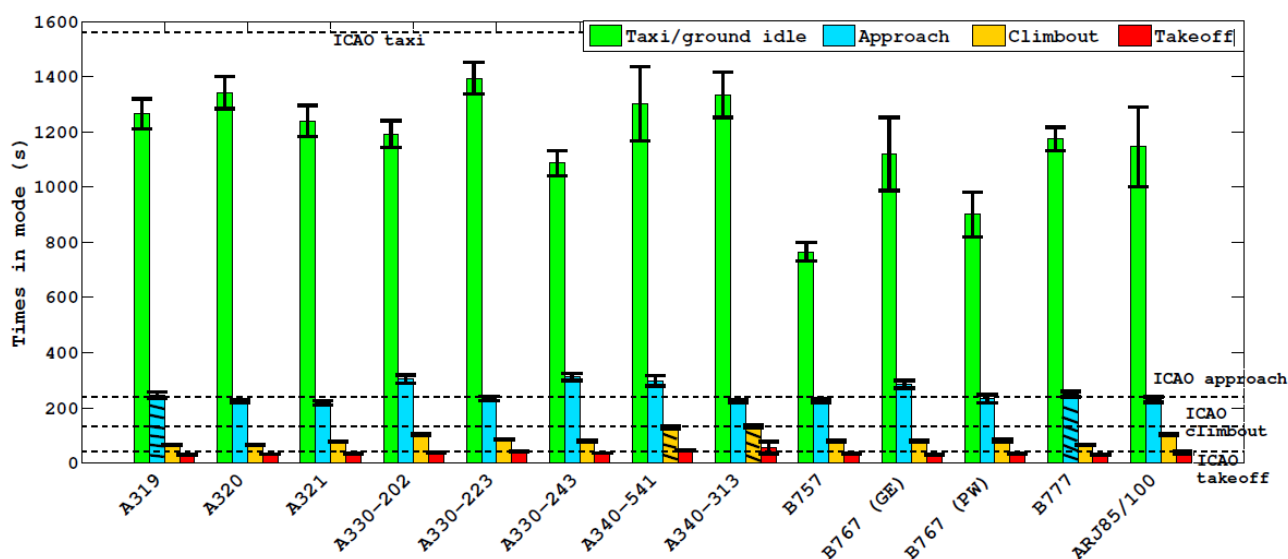
A continuació podem veure la taula amb les dades que la OACI aporta en cada etapa de vol: [8]

Operating mode	Thrust setting	Time in operating mode (minutes)
Take-off	100 % F_{∞}	0.7
Climb-out	85 % F_{∞}	2.2
Approach-landing	30 % F_{∞}	4.0
Taxi/ground idle	7 % F_{∞}	26.0

Taula 12. Dades per defecte per cada operació del cicle LTO (OACI)

Són dades que poden canviar molt realment en funció de factors que anteriorment he comentat.

Referent aquestes dades, existeix concretament un estudi de la universitat de Cambridge US [47], que es va presentar l'any 2014 en la ICRAT (*International Conference on Research in Air Transportation*), fa un anàlisi dels consums de combustible i d'emissions en les etapes d'enlairament i aterratge a través de l'ús de dades operacionals obtingudes de *Flight Data Recorders*_{G33} i comparant-les amb les dades que aporta la OACI.

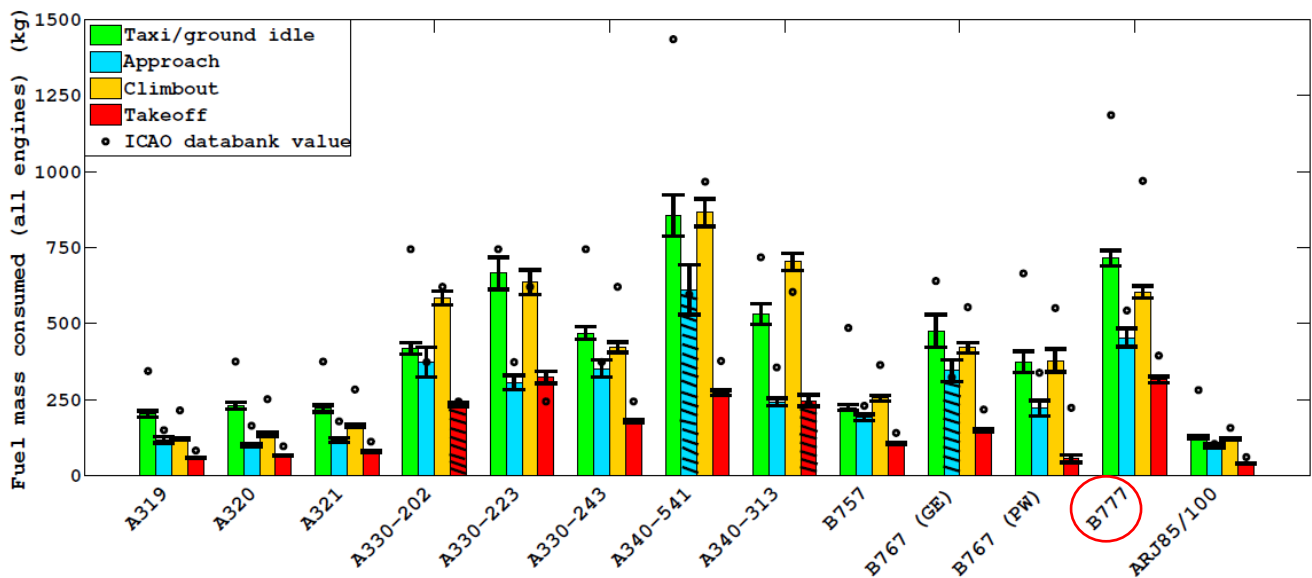


Gràfic 17. Temps emprat segons model d'aeronau per cada operació del cicle LTO comparat amb les dades de la OACI

Aquest estudi vol demostrar que l'estimació de la OACI referent als 26 minuts en les operacions en terra són excessius per a la majoria d'aeronaus.

També mostra la quantitat de temps que passa cada aeronau fent *taxiing*, així com també la resta de fases del vol que conflueixen a l'aeroport.

Aquest altre gràfic de sota mostra realment el consum de combustible en kilograms en cada etapa, i concretament permet veure molt bé que durant el temps que l'aeronau està fent *taxiing*, el consum és realment elevat. Si ens fixem en el *Boeing 777* podem apreciar que el càlcul ràpid que anteriorment havíem fet (605Kg) no queda massa lluny del que mostra aquest gràfic.



Gràfic 18. Combustible consumit (Kg) segons el model d'aeronau per cada operació del cicle LTO comparat amb les dades de la OACI

Pel que fa a les diferències notables entre les dades de la OACI i les resultades de l'estudi, els autors ho justifiquen dient que la OACI fa una sobreestimació dels consums i emissions globals. Degut segurament a que utilitzen valors de paràmetres constants durant una fase completa en el cicle LTO_{G34}.

Recordem que hi ha una variabilitat important en els resultats depenen de molts factors com l'eficiència dels motors en cada moment, les condicions meteorològiques, nivells de congestió als aeroports, comportament del pilot, etc.

Com hem vist en el gràfic de més amunt, el consum de combustible en aquesta etapa és important, per a que ens fem una idea, un avió gran com el *Boeing 747 (Jumbo)* en 15min de *taxiing* consumeix en torn a la tona (1000 Kg) de combustible. [48]

La informació de la continuació ha estat extreta de la publicació per part d'Eurocontrol dels temps de *taxi-in* i *taxi-out* de gairebé 500 aeroports d'arreu del món. Les dades mostren que la mitjana (propi càlcul) de temps empleat per realitzar el *taxi-out* durant el període d'estiu 2019 ha estat de 12 minuts. Mentre que la mitjana extreta per el mateix període dels *taxi-in* és de 5,7 minuts.

Això s'interpreta com a que únicament el temps de *taxi-out* ja correspon al 67,8% de tot el temps empleat en fer *taxiing*. Per tant, el *taxi-out* és un element significatiu.

Temps de *taxi-out* d'alguns dels gairebé 500 aeroports proporcionats per Eurocontrol per al període d'estiu 2019 (ordenat de major a menor temps de *taxi-out*): [49][50]

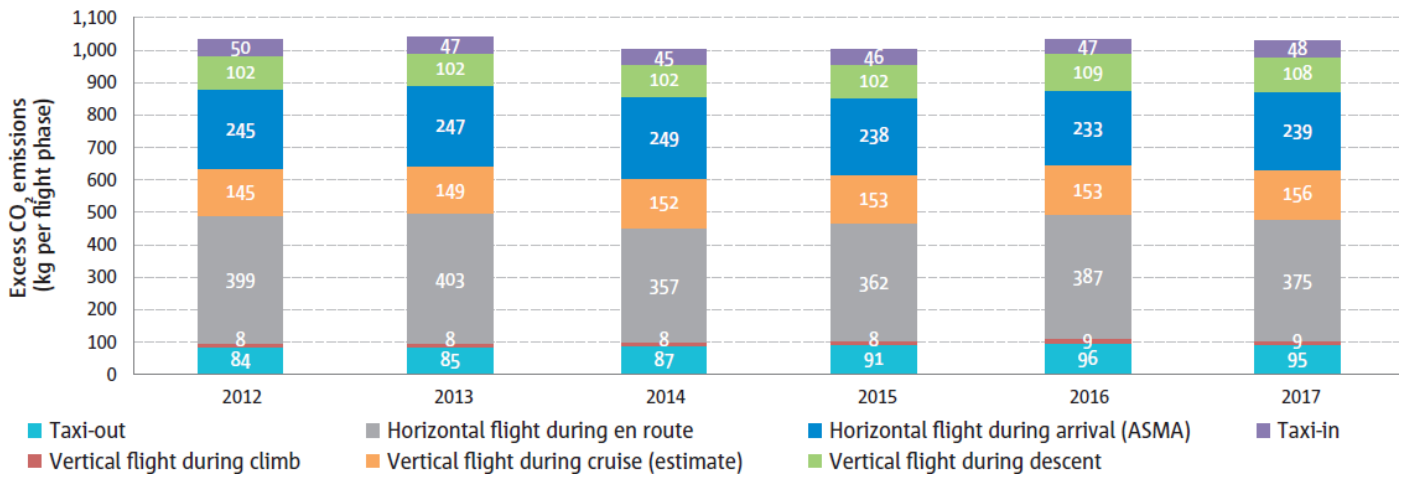
ICAO	IATA	Airport Name	Mean TXO (mins)	Standard Deviation	10th Pctl	Median	90th Pctl
KJFK	JFK	NEW YORK	33,6	17,6	18,0	29,0	54,0
KPHL	PHL	PHILADELPHIA	30,1	15,7	18,0	26,0	46,0
RPLL	MNL	MANILA	29,0	10,5	19,0	26,0	44,0
MMMX	MEX	MEXICO CITY	29,0	11,1	18,0	27,0	42,0
KIAD	IAD	WASHINGTON	28,9	17,0	16,0	24,0	45,0
ZSPD	PVG	SHANGHAI PUDONG INTL	26,9	9,1	18,0	25,0	37,0
ZBAA	PEK	BEIJING	26,4	12,3	15,0	23,0	41,0
KEWR	EWR	NEWARK	25,9	14,5	14,0	22,0	40,0
KORD	ORD	CHICAGO O HARE INTL	25,5	11,1	15,0	23,0	38,0
RJAA	NRT	NEW TOKYO	25,1	9,4	15,0	24,0	37,0
VIDP	DEL	DELHI	25,0	7,5	17,0	24,0	34,0
KSFO	SFO	SAN FRANCISCO	24,8	7,8	16,0	24,0	34,0
SKBO	BOG	BOGOTA INTL/ELDORADO	24,5	7,4	16,0	23,0	34,0
ZGGG	CAN	GUANGZHOU	24,0	7,1	17,0	23,0	32,0
LTFM	IST	ISTANBUL AIRPORT	23,9	6,8	16,0	23,0	32,0
KFLL	FLL	FORT LAUDERDALE	23,6	7,4	16,0	22,0	33,0
RJTT	HND	TOKYO HANEDA	23,0	5,6	18,0	22,0	31,0
WIII	CGK	JAKARTA/SOEKARNO HATTA (C	22,8	6,6	15,0	22,0	31,0
EGLL	LHR	LONDON/HEATHROW	22,6	7,9	14,0	22,0	31,0
KDEN	DEN	DENVER INTERNATIONAL	22,2	12,0	14,0	19,0	33,0
VHHH	HKG	HONG KONG INTL	22,2	7,5	15,0	21,0	30,0
EGKK	LGW	LONDON/GATWICK	21,8	9,1	13,0	21,0	30,0
KLAS	LAS	LAS VEGAS/MCCARRAN INTL, N	21,7	8,3	14,0	20,0	31,0
KMCO	MCO	ORLANDO INTL/FLORIDA	21,6	7,7	15,0	20,0	30,0
SCEL	SCL	SANTIAGO ARTURO MERI	21,4	5,7	16,0	20,0	28,0

Taula 13. Temps taxi-out d'alguns aeroports per el període d'estiu 2019 (EUROCONTROL)

Els aeroports d'Estats Units destaquen per tenir *taxi-times* alts, segurament pels alts volums de trànsit de vols que mouen.

Dades procedents d'Eurocontrol en quan a excés d'emissions segons la fase de vol (Europa): [18]

Figure 4.1 Breakdown of gate-to-gate excess CO₂ emissions for an average flight in Europe

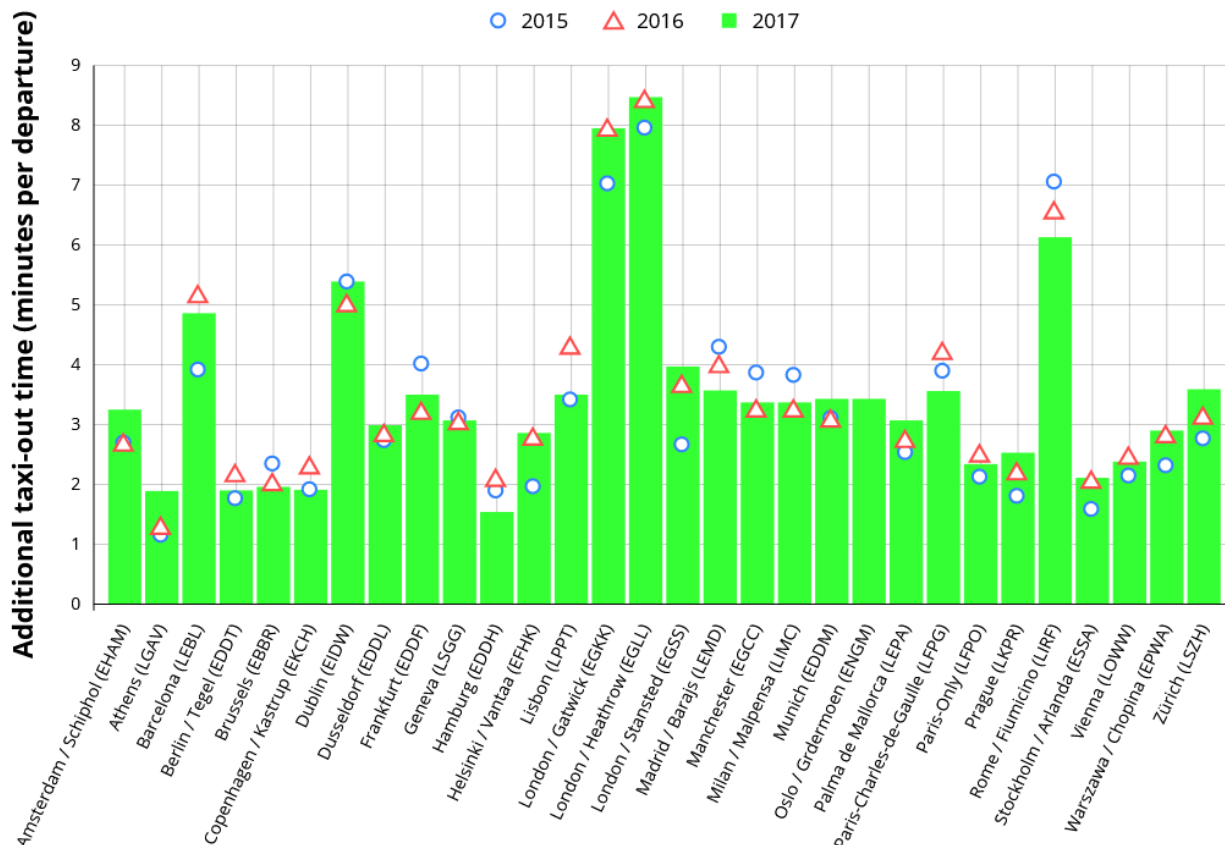


Gràfic 19. Evolució de l'excés d'emissions CO₂ per fase de vol en Kg

Si analitzem de manera separada els temps de *taxi-in* i els de *taxi-out*, podem veure que en general la norma és que el temps de *taxi-out* siguin el doble que el de *taxi-in*. [51]

Additional taxi-out time at the top 30 busiest airports

Interactive graph: Hover over the bars to visualise their value. Click on a series name in the legend to unselect/select it.



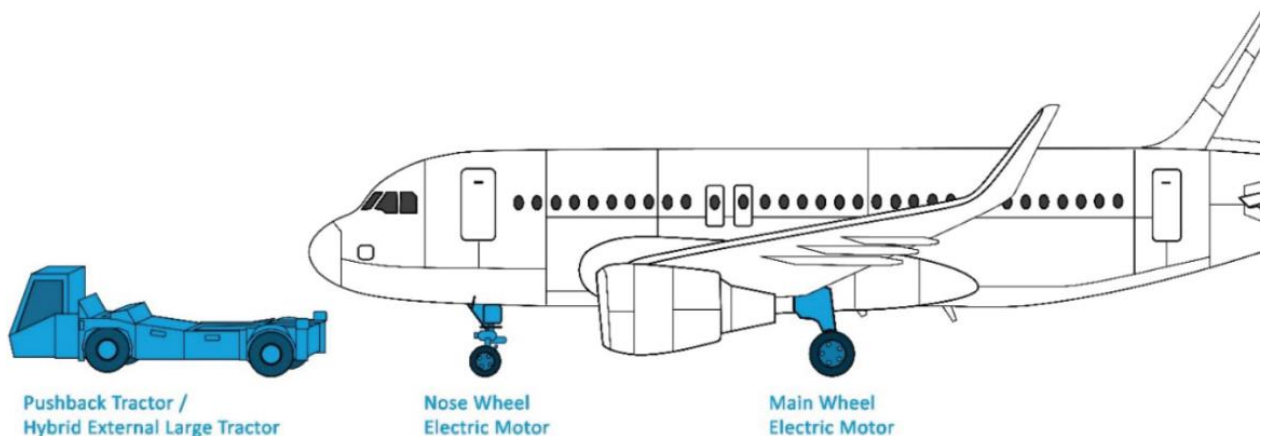
Gràfic 20. Evolució de temps de taxi-out addicionals per aeroport en minuts

Definició *Additional Taxi-out time*: És la diferència entre el temps *taxi-out* actual i el determinat estadísticament com el temps *taxi-out* sense restriccions (o *Unimpeded taxi-out time*), basat en períodes de baixa demanda.

Un cop analitzada la situació, al llarg d'aquesta memòria ha quedat ben clar que la tendència del sector aeri és de gran creixement en els pròxims anys. Per tant, si hem actuar d'alguna manera en termes mediambientals hem de comptar amb això, és per això que des del meu punt de vista, centrant-me en el que aquí presento, s'ha d'actuar per fer que els temps de *taxiing* generin menys contaminació o gens. Ja que una altre alternativa com per exemple reduir els propis temps de *taxiing* es presenta realment com a un desafiament coneixent la tendència de gran creixement del trànsit aeri. Els aeroports estaran més congestionats i per tant la gestió eficient dels temps serà cada cop més difícil i evidentment que sempre pot millorar amb sistemes o tecnologies, i no s'ha de deixar de fer, però crec que si volem veure resultats de manera més senzilla i ràpida, s'ha de reduir la contaminació prioritàriament a través de sistemes directes sobre la manera de moure's de les aeronaus en els aeroports.

Per això, aquí es recullen els principals sistemes existents pel que fa alternatives al *taxiing*, així com els seus avantatges i inconvenients. Actualment existeixen quatre alternatives clares al tradicional procés de *taxiing*, tot i que **només una d'elles es troba en ús en l'actualitat**:

3.2. Alternatives existents al procés de *taxiing* [52]



Imatge 50. Alternatives existents al procés de *taxiing* tradicional

Pushback Tractors: L'ús dels vehicles habituals per fer els *pushbacks* per ser reconvertits també en vehicles de *taxiing*.

Energia → Cert estalvi potencial de l'energia consumida.

Emissions → Certa reducció en emissions CO2 per la menor quantitat de combustible consumit però possible increment d'emissions de partícules en suspensió.

Soroll → Es reduiria en 10-12 dB la contaminació acústica a la zona de l'aeròdrom.

Pes aeronau → No requereix cap instal·lació en l'aeronau que pugui provocar un augment del seu pes.

Velocitat i Potència → El vehicle de *puschback* pot arribar a ser massa lent per fer el procés de *taxiing* complet, sobretot en aquelles aeronaus de grans dimensions que poden requerir vehicles *pushback* de més potència i per tant més contaminants.

Capacitat → Necessitat de incrementar en personal i volum de vehicles d'aquest tipus.

Hybrid External Large Tractor: Variant hibriditzada dels tradicionals vehicles *puschback*.

Compta amb els mateixos avantatges i inconvenients que l'anterior sistema però amb la diferència que té una certa reducció pel que fa a les emissions contaminants al ser una versió híbrida.

Exemple:



TaxiBot (Israel Aerospace Industries, Airbus i TLD) - 2014

Imatge 51. Logotip del sistema Taxibot

Es tracta d'un vehicle semi-autònom de motor híbrid (800cv), que permet al pilot de l'aeronau fer el *taxiing* amb els motors apagats mitjançant el control d'aquest vehicle auxiliar des de la pròpia cabina de l'aeronau.

El funcionament és semblant al d'un vehicle *pushback*, però en aquest cas el vehicle permet acostar l'aeronau fins a la pista evitant el malbaratament de combustible durant el *taxiing*.

Es tracta de l'única alternativa al rodatge convencional certificada i funcional en el món.



Imatge 52. Aeronau de Lufthansa utilitzant el vehicle Taxibot

Els fabricants afirmen que pot reduir fins a un 85% del combustible consumit i emissions durant aquest procés. Segons Lufthansa, l'ús d'aquest nou sistema en el seu *hub* de Frankfurt pot permetre estalviar fins a 2.700 tones de combustible en vols de llarg radi cada any.

Lufthansa va ser la seva primera aerolínea en provar-lo l'any 2015, KLM s'ha unit al programa al Maig d'aquest 2020.

Nose Wheel Electric Motor o Motor Electric en la Roda Davantera: Es tracta de la instal·lació d'un motor elèctric en la roda davantera de l'avió, subministrat a través de l'energia obtinguda del APU.

Energia → Cert estalvi potencial de l'energia consumida.

Emissions → Reducció de les emissions contaminants, tot i que estiguem parlant d'un motor elèctric hem de recordar que l'energia que s'obté del APU prové de la combustió. Per tant, no estem parlant d'un mètode lliure d'emissions.

Pes aeronau → Al requerir d'una instal·lació extra en l'aeronau, el pes augmenta en aproximadament 136 Kg (300lb).

Velocitat i Potència → Aquí ens trobem amb el mateix problema i és que depenent del model d'aeronau la potència requerida per moure l'aparell a una velocitat raonable obliga a augmentar la potència del motor elèctric i per tant consumirà més energia i pesarà més.



Imatge 53. Roda davantera d'una aeronau amb el sistema de WheelTug o Nose Wheel Electric Motor instal·lat

Main Wheel Electric Motor o Motor Electric en la Roda Principal:

Es tracta del mateix sistema anterior però amb la diferència que el motor elèctric donarà potència a les rodes posteriors principals. Els avantatges i desavantatges són idèntics al sistema anterior, amb la principal diferència que es tracta d'un motor que ha de donar potència a dues rodes en comptes d'una sola i que per tant és més potent i pesa més. Pot arribar a significar un pes extra de 318 Kg (700 lb) aproximadament.



Imatge 54. Roda posterior d'una aeronau amb el sistema de Main Wheel Electric

Totes les alternatives anteriors són poques i realment obtenen poc suport degut als inconvenients com els elevats costos que suposen per a les aerolínies.

Per això, proposo un sistema alternatiu de *taxiing* que no requereixi de costos extrems per a les aerolínies, però que suposi un augment de compromís i responsabilitat en les seves operacions per poder estalviar en combustible que com ja hem dit es un dels costos principals per a una aerolínia. Per tant, això permetria reduir també la contaminació procedent dels processos de *taxiing*.

3.3. Situació actual del sector aeri (COVID-19) [53]

Abans d'entrar de ple en aquesta idea, abans hem de fer una actualització i veure quina és la situació actual del sector. Com sabem una pandèmia mundial ha provocat i provocarà una crisi econòmica en molts sectors, i precisament el sector aeri s'està veient molt perjudicat.

A continuació, s'exposen algunes dades molt recents que permeten tenir una idea de les conseqüències del COVID-19 sobre l'aviació civil i algunes prediccions sobre quin pot ser el futur més pròxim per al sector.

Les següents dades de la OACI mostren l'impacte actual i esperat en el sector aeri mundial per al període complet d'aquest any 2020 (Gener – Desembre 2020), comparat amb un escenari habitual d'un any normal:

- Una **reducció** general d'entre el **39 - 52%** de seients oferts per part de les aerolínies
- Una **reducció** general d'entre **2.247 – 2.997 Milions** de passatgers
- Unes **pèrdues** potencials d'entre **289 – 387 Mil Milions de \$ (USD)** per part de les aerolínies

Aquestes dades són a data 15/06/2020 i poden variar constantment en funció de l'esdevenir de la pandèmia i les diferents mesures que prenguin els governs respecte al transport aeri.

Tot seguit, s'exposen algunes dades que han proporcionat diferents institucions i organitzacions mundials:

bn: Bilió o Mil Milions (España)

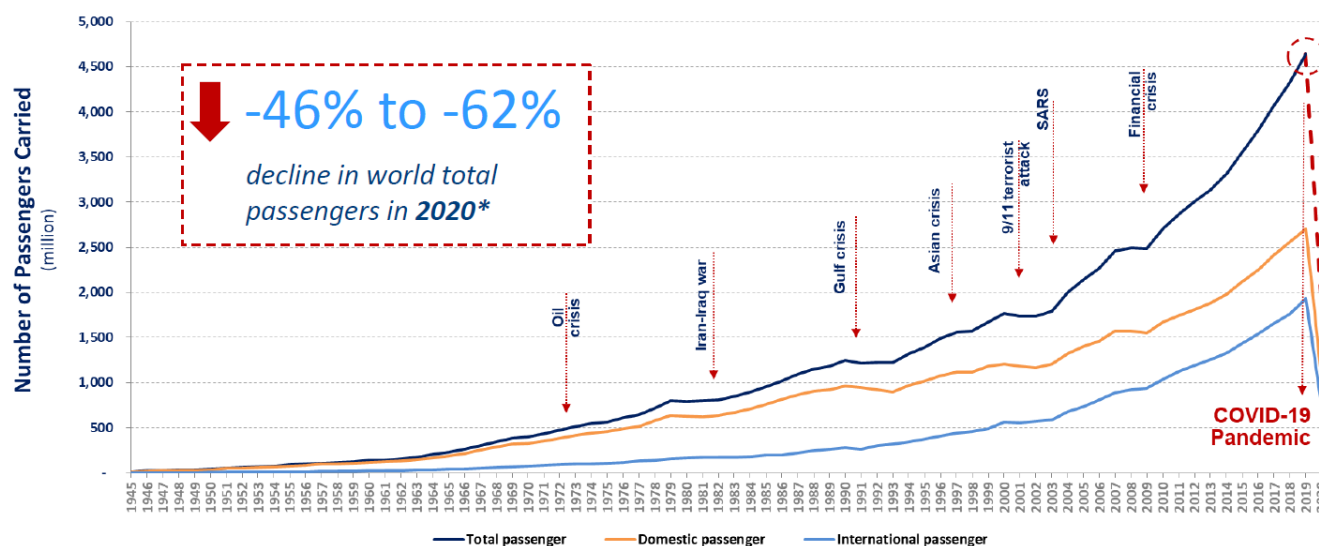
RPK: *Revenue Passengers Kilometers* o Ingresos per Passatger i Km

World GDP: *World Gross Domestic Product* o Producte Interior Brut Mundial



Imatge 55. Dades de diferents institucions sobre els efectes i conseqüències de la pandèmia del COVID-19

World passenger traffic evolution 1945 – 2020*

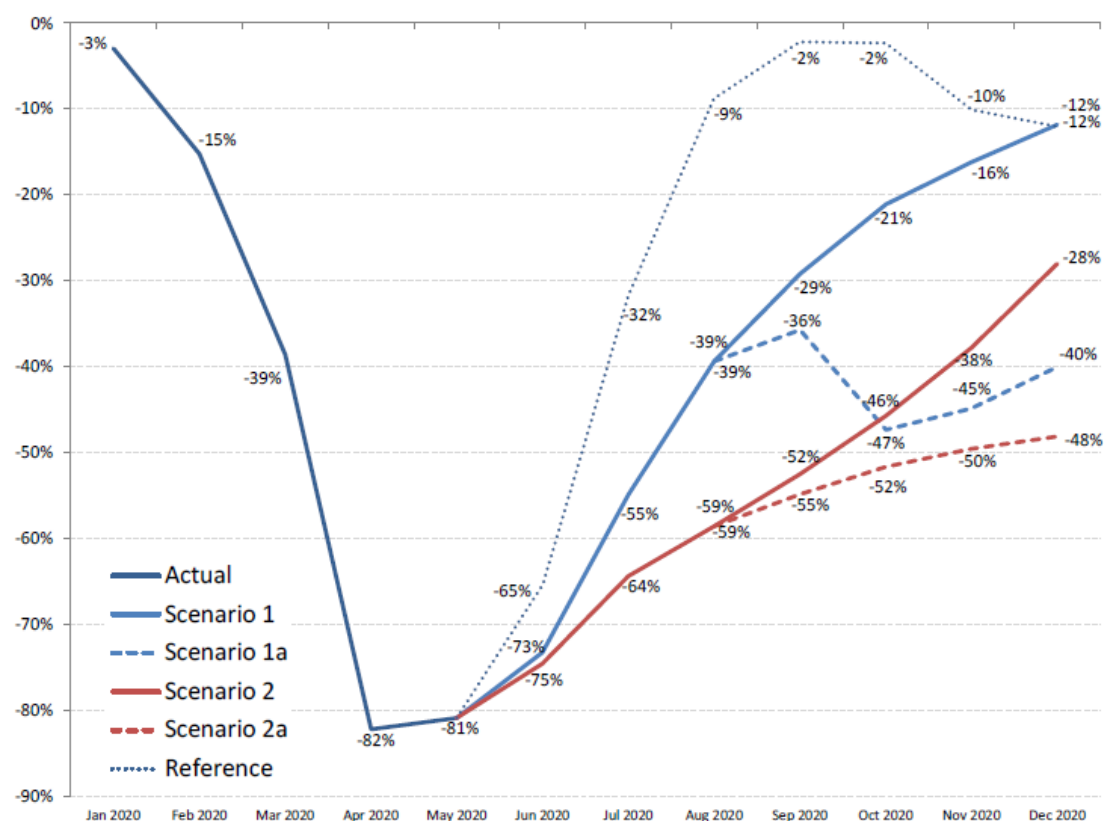


Gràfic 21. Evolució del nombre de passatgers transportats en el sector aeri en els últims 75 anys en milions

Veient el gràfic anterior podem apreciar que la caiguda és preocupant si ho comparem amb d'altres crisis dels últims 75 anys.

Estem en un moment incert, tot i això, la OACI ha presentat una sèrie de prediccions fins a finals d'any en base a diferents escenaris possibles:

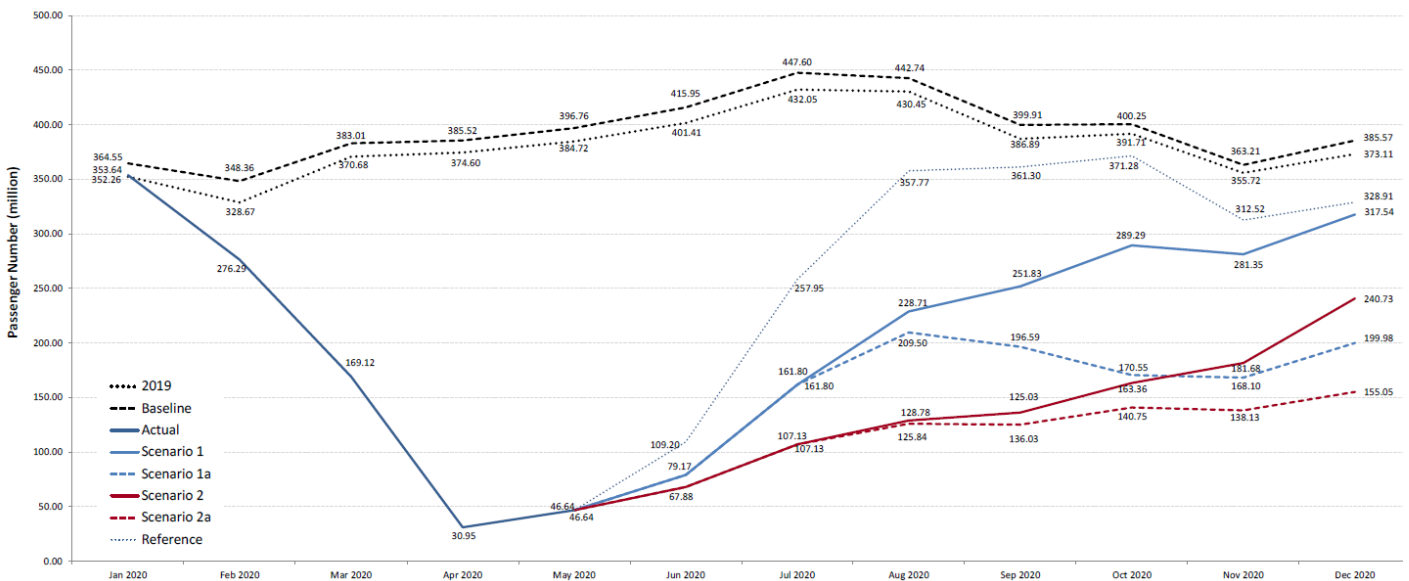
International + Domestic (-39% to -52% from Baseline)



Gràfic 22. Evolució i predicció futura del nombre de seients oferts a nivell internacional i domèstic en el 2020 segons l'escenari

International + Domestic

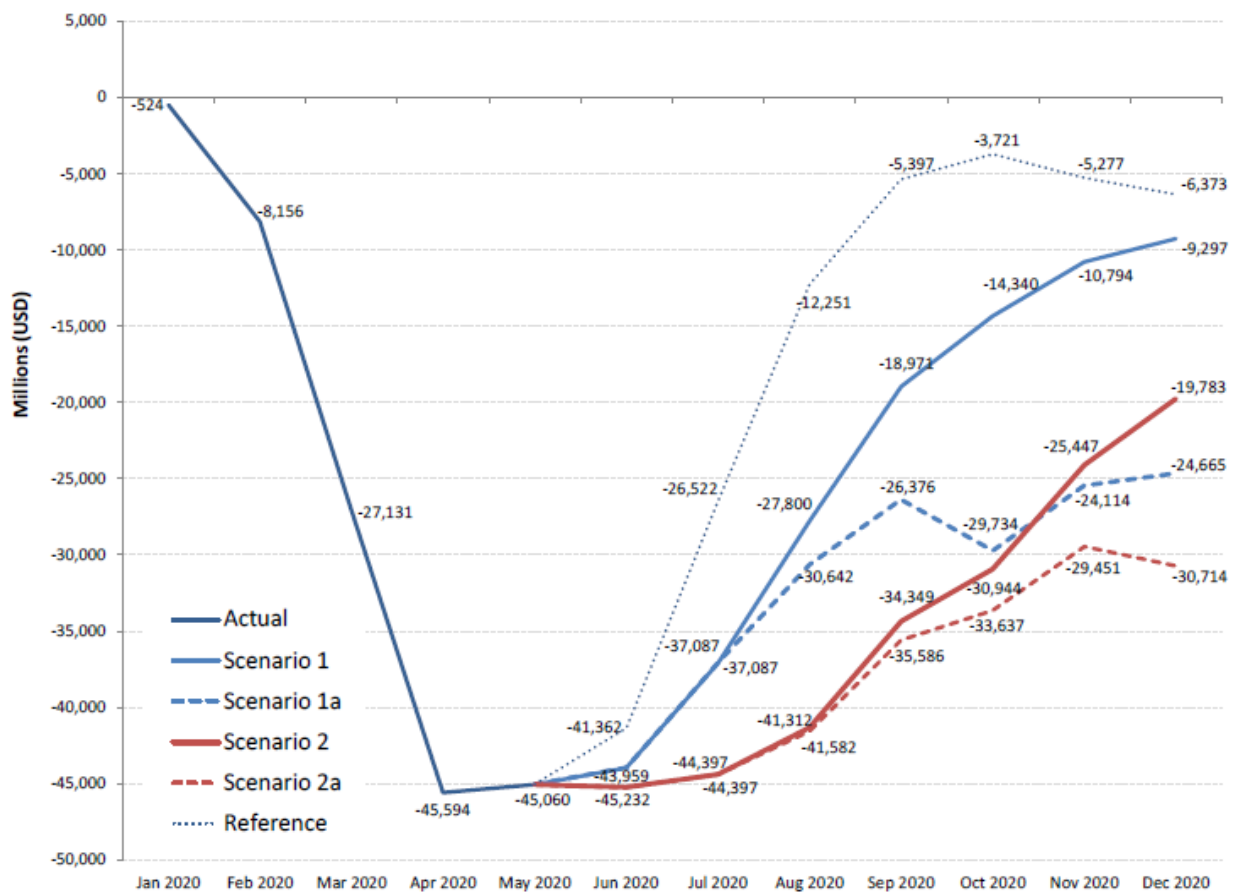
(-2.247 to -2.997 million from Baseline and -2.096 to -2.846 million from 2019)



Gràfic 23. Evolució i predicció futura del nombre de passatgers internacionals i domèstics transportats en el 2020 segons l'escenari

International + Domestic

(-289 to -387 billion (o mil milions) USD from Baseline)



Gràfic 24. Evolució i predicció futura dels ingressos del sector aeri en el 2020 segons l'escenari en milions de dòlars USD

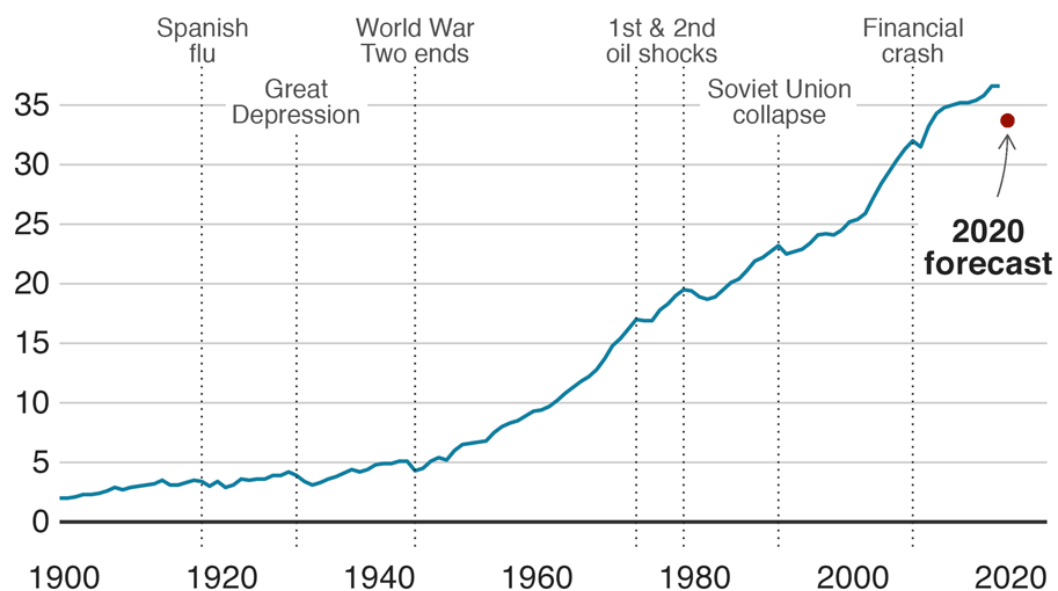
En general són prediccions de recuperació, tot i això, com he dit abans estem en un moment incert on les dades i la situació poden canviar molt ràpidament.

Pel que fa a les conseqüències positives d'aquesta pandèmia, en destaca la reducció dràstica de les emissions contaminants com el CO₂ a tots els nivells de la societat, evidentment degut al confinament que ha paralitzat gairebé el món sencer.

En el següent gràfic podem observar l'evolució de les emissions de CO₂ globals durant els últims 120 anys, i com els diferents esdeveniments importants en la història com guerres o crisis han afectat d'alguna manera en la contaminació. La previsió és que a finals de 2020 tinguem dades de la caiguda més important en emissions d'aquests últims 120 anys. [54]

Global CO₂ emissions, 1900-present

Billion tonnes of CO₂ per year

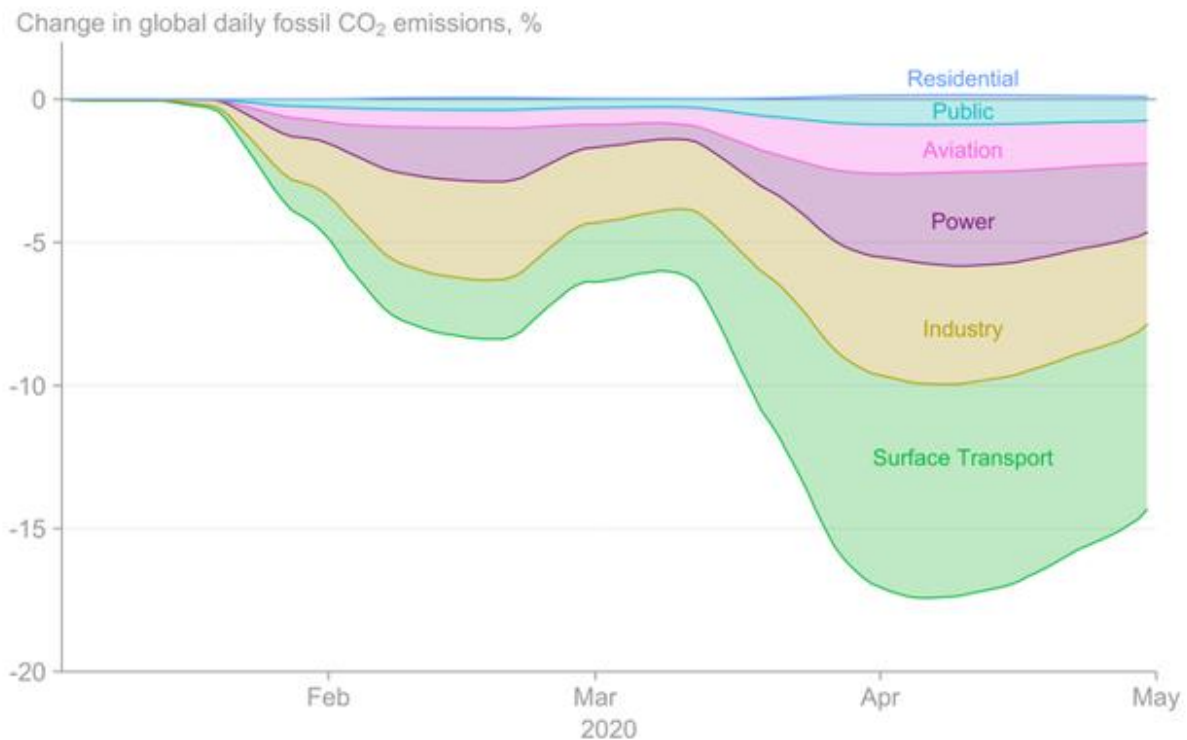


Source: Global Carbon Project, CDIAC & IEA

BBC

Gràfic 25. Evolució i predicció futura de les emissions CO₂ globals dels últims 120 anys en milers de milions de tones

Si veiem el canvi diferenciat per sectors en emissions de CO₂ diàries, sabem que el sector aeri ha estat un dels que ha rebut una reducció més dràstica de l'activitat. Però pel que fa a la caiguda en emissions globals ha estat més petita, representant 10% d'aquesta caiguda, ja que hem de recordar que el sector aeri representa aproximadament un 3% de les emissions de carboni a nivell mundial. [55]



Gràfic 26. Evolució de les emissions CO₂ globals diàries per sectors en els últims 5 mesos en canvis de percentatge %

Davant d'aquesta situació, molts analistes, experts i activistes creuen que s'ha presentat una oportunitat, és el moment polític d'actuar sobre els riscos climàtics plantejats pel sector de l'aviació.

Els rescats d'aerolínies es començaran a veure de manera freqüent en els pròxims mesos, i argumenten que aquests rescats han de venir amb condicions verdes que obliguin a les aerolínies a prendre mesures per reduir les seves emissions contaminants si volen ser rescatades.

És rellevant saber que els governs Europeus han acordat destinar 12,7 mil milions d'euros en rescats d'aerolínies, i uns altres 17,1 mil milions estan sota discussió.

Si tal quantitat de fons públics es destinen a rescatar a les companyies aèries, com a societat ens mereixem que els nostres diners siguin utilitzats amb fins més enllà que els econòmics i competitius.

Un exemple del que ha de succeir i que dóna esperança és el que el ministre francès Bruno Le Maire va dir: Air France ha de convertir-se en l'aerolínia més ecològica del món a canvi d'un rescat de 7.000 milions d'euros. Veurem si tot això queda en alguna cosa més que paraules.

Els experts i activistes proposen 8 passos o propostes per aprofitar aquest moment i aconseguir un sector aeri més net:

- En primer lloc, una via simple és reduir el volum de vols. Sembla difícil d'aconseguir veient la situació d'on venim i l'actual.
- Una segona proposta seria implantar taxes en els combustibles aeronàutics, inexistents en l'actualitat, d'aquesta manera es podria evitar que les aerolínies volin amb avions pràcticament buits gràcies a la caiguda del preu del petroli.
- Introduir una taxa per a passatgers freqüents. Només al Regne Unit un 15% de la població pren el 70% dels vols del país.
- Obligar a les aerolínies a publicar dades reals i transparents sobre les seves emissions contaminants. Per una mateixa ruta pot existir un 80% de diferència en emissions, per molts motius com tipus d'aeronau, edat de l'aeronau, càrrega, etc.
- Incloure al sector aeri en els objectius climàtics nacionals.
- Renovacions de flotes antigues contaminants i poc eficients.
- Impedir expansions d'infraestructures aeroportuàries.
- Invertir en combustibles alternatius i tecnologia.

D'entre totes aquestes propostes n'hi ha de més fàcils d'aconseguir i d'altres que es preveuen difícils o pràcticament impossibles. Tot i això, qualsevol intent o canvi en aquest sentit és útil. [56]

Un cop fet tot aquest anàlisi dels sistemes alternatius al *taxiing* existents, així com la situació actual i la que es preveu a curt-mitjà termini en el sector aeri, proposo tot seguit un sistema alternatiu al *taxiing* tradicional que no requereix d'un esforç econòmic per a les aerolínies en un inici i que a més els hi permet reduir els seus costos en combustible. Tenint en compte la situació difícil del sector, la implantació i ús d'aquest sistema hauria de ser progressiu per evitar inversions inicials molt altes per part dels aeroports i d'aquesta manera poder veure el funcionament i progrés abans d'ampliar la infraestructura.

Aquesta idea es basa en un prototip real en proves anomenat ATS (*Aircraft Towing System*), afegint-hi algunes propostes de directrius de funcionament pròpies.

3.4. Alternativa al *taxiing* amb algun matís de funcionament [57]



Imatge 56. Model 3D del funcionament del sistema de taxiing ATS

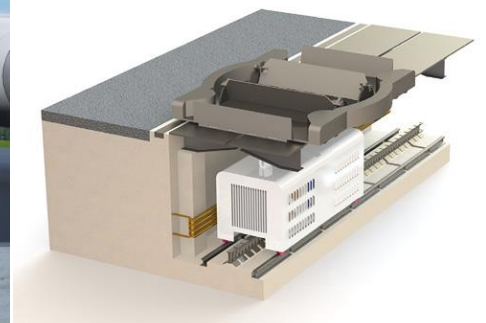
Es tracta d'utilitzar un sistema totalment lliure d'emissions que transportarà l'aeronau des de la porta d'embarcament fins a les immediacions de la pista i al inrevés.

L'ATS es basa en l'ús d'infraestructures fixes en la superfície, sense afegir pes extra a l'aeronau que faci ús d'aquest sistema.

Les infraestructures consten de rails fixes, per sobre dels quals hi circularan els pull cars o cotxes d'arrossegament. Bàsicament es pot definir com a un equivalent a un tractor *pushback* però amb la diferència que aquest va ancorat a uns rails i es mou per sota terra a molt poca profunditat. L'ancoratge a la roda és l'única peça del vehicle que sobresurt del terra. El vehicle extreu la potència d'un motor elèctric.



Imatge 57. Model 3D del funcionament del sistema de taxiing ATS (2)



Imatge 58. Model 3D del funcionament del sistema de taxiing ATS (3)

El sistema de rails és totalment autònom i informatitzat, això li permet està contínuament connectat als sistemes de gestió del transit aeri de l'aeroport per saber en tot moment la posició d'altres aeronaus en superfície i coordinar-se.

Els principals beneficis que podem destacar són:

- Reducció important dels consums de combustible per a les aerolínies
- Reducció proporcional en els costos de combustible per a les aerolínies (segons ATS del voltant del -4%)
- Reducció proporcional de les emissions contaminants

- Reducció del personal necessari per operar els tractors *pushback* que es reemplacen per aquest sistema
- No requereix de modificacions en les aeronaus que facin ús d'aquest sistema, i per tant, no significa un augment del pes de l'aparell com podíem veure en altres sistemes de *taxiing*.

Estimacions dels costos d'implementació del sistema:

- Cada metre de raíl ATS costa 2.800€ (1m).
- Cada ATS pull car o cotxe d'arrossegament costa uns 70.000€.
- En aquests costos s'haurien d'afegir els costos de la mà d'obra i el manteniment periòdic necessari.

L'ús i el manteniment habitual d'aquest sistema requereix de 10 treballadors per a aeroports grans.

Una opció que proposa ATS per recuperar la inversió dels aeroports en la implementació d'aquest sistema és augmentar les taxes a les aerolínies, tot i això, a continuació exposo una nova proposta que penso que és més efectiva de cara a reduir les emissions que realment és el que volem aconseguir amb aquest sistema.

En primer lloc, la instal·lació d'aquest sistema hauria de ser progressiva, en un aeroport amb varies portes d'embarcament, només una d'elles disposaria d'aquest sistema de rails fins a la pista. Això permetria veure el funcionament híbrid amb el *taxiing* tradicional i aquest. A més, no requeriria d'una inversió tan elevada per a l'aeroport.

La idea és que aquelles aerolínies que hagin estat més puntuals en el darrer mes tinguin preferència a l'hora de fer ús d'aquest sistema. Evidentment aquest sistema de prioritat està subjecte a la capacitat de l'aeroport, a la dimensió d'infraestructura ATS instal·lat en cada cas, a l'ocupació en cada moment i a un mínim d'operacions que ha de tenir l'aerolínia.

Aquesta manera de filtrar permet que aquelles aerolínies amb vols mínimament regulars que fan bona feina de gestió i tenen alts percentatges de compliment dels seus *slots*_{G35} i que per tant són més puntuals, podran fer ús del sistema ATS.

El preu de les taxes que l'aerolínia haurà de pagar no serà major si s'utilitza l'ATS o el *taxiing* tradicional. Això és perquè d'aquesta manera impulsa i anima a les aerolínies a ser més puntuals i en definitiva a ajudar en que la gestió aèria i aeroportuària sigui més eficient i eficaç. Per a l'aerolínia, l'ús del sistema ATS no li suposarà més despeses i a més aconseguirà reduir els seus costos en combustible en cada vol que faci ús d'aquest sistema.


Per a l'aeroport la recuperació de la inversió serà lenta però tenint en compte la menor despesa de gestionar aquest sistema en comparació amb els *pushbacks* tradicionals i ajudes en forma de subsidis per part dels Estats, podran recuperar i ampliar poc a poc el sistema i acabar tenint un aeroport de *taxiing* 100% automatitzat i lliure d'emissions. Amb aquest assoliment una opció seria augmentar les taxes

aeroportuàries, ja que les aerolínies tindran marges més grans gràcies als costos que s'estalviaran en combustible.

El funcionament serà el següent:

- En el moment de fer el pla de vol s'adjuntarà la sol·licitud, si es volgués, per fer ús del sistema ATS en l'aeroport de destí. Un cop enviat el pla de vol, el gestor aeroportuari de l'aeroport de destí s'encarregarà de gestionar les sol·licituds i comprovar si compleixen amb els requisits així com donar preferència aquelles aerolínies amb millors ràtios de puntualitat en el darrer mes.
- Durant el vol, de seguida que s'hagi organitzat s'avisarà als pilots de l'aeronau així com a l'aerolínia de si poden fer ús o no del sistema al aterrar. Pel cas dels enlairaments s'haurà de fer la sol·licitud amb 2 hores d'antelació de la sortida del vol, i després confirmar la sol·licitud en el pla de vol si es realitzés més tard. Un pla de vol es pot enviar fins a 60min abans de la sortida per a vols internacionals i 30min abans per a vols nacionals.
- Requisits que l'aerolínia requereix complir per poder fer ús del sistema ATS:
 - Haver operat un mínim de 1000 vols en el darrer mes.
 - Ràtio de puntualitat del 75% o més.
- En cas d'empat de ràtio de puntualitat entre dos aerolínies que ho sol·licitin, aquella que tingui més vols per any tindrà preferència.
- Per decidir l'assignació sempre es miraran les ràtios de puntualitat del darrer mes.
- Les dades de puntualitat s'extreuen del proveïdor global líder d'informació aeronàutica OAG. Concretament de la *Punctuality League* que s'actualitza cada mes. [58]

Exemple (TOP10 Puntualitat – Febrer 2020):



TOP AIRLINE ON-TIME FLIGHTS		On-time performance			
	Airline	Arrivals	Rank	No. flights	Size
FV	Rossiya Airlines	100.0%	1	4	352
HR	Hahn Air	100.0%	2	14	348
GA	Garuda Indonesia	97.1%	3	11,093	51
TA	TACA International Airlines	96.9%	4	283	295
PG	Bangkok Airways	96.6%	5	6,237	87
7G	Star Flyer	95.8%	6	2,096	163
JH	Fuji Dream Airlines	95.0%	7	2,320	159
CM	Copa Airlines	94.9%	8	9,847	62
WE	Thai Smile Airways	94.9%	9	3,365	131
B7	Uni Airways	94.2%	10	3,318	132



Imatge 59. Portada del document de la Punctuality League de OAG (Febrer 2020)

Taula 14. TOP10 d'aerolínies més puntuals del mes de Febrer 2020

Exemple (Ranking Puntualitat – Febrer 2020, ordenat per N° Vols):

	Airline	Country	On-time performance			No. flights
			Arrivals	Rank	Cancellation %	
AA	American Airlines	USA	80.8%	92	1.7%	182,468
DL	Delta Air Lines	USA	86.1%	50	0.2%	148,985
UA	United Airlines	USA	82.8%	78	1.0%	139,115
WN	Southwest Airlines	USA	88.5%	38	1.0%	103,902
FR	Ryanair	Ireland Republic of	83.8%	-	0.6%	55,249
6E	IndiGo	India	79.8%	98	0.1%	45,594
LA	LATAM Airlines Group	Chile	85.0%	56	0.9%	43,238
AC	Air Canada	Canada	59.4%	148	5.8%	42,257
U2	Easyjet	United Kingdom	74.9%	123	2.7%	41,398
LH	Lufthansa German Airlines	Germany	81.0%	89	3.8%	40,282

Taula 15. Ranking d'aerolínies més puntuals del mes de Febrer 2020 ordenades per N° de vols

El percentatge *On-Time* es refereix als vols que enlairen o aterren dintre dels 15min previstos per els *slots* assignats en cada cas.

La situació actual i la que vindrà en els pròxims mesos o qui sap si més, en la que ens trobem, provoca que la implementació de qualsevol sistema no estrictament necessari pel funcionament habitual, i que requereixi certa inversió, serà difícil de duu a terme, degut els problemes econòmics que el sector esta patint, tot i això, sigui ara o sigui d'aquí 1 any s'ha d'actuar, no hem d'oblidar la gran prioritat que és reduir la contaminació del planeta a tots els nivells.

Possible projecte d'implementació del sistema ATS a l'aeroport de Barcelona (LEBL)

A continuació, es mostra un petit estudi d'un possible projecte d'implementació inicial d'aquest sistema ATS en l'aeroport de Barcelona.

En primer lloc s'ha de tenir en compte la disposició de les infraestructures aeroportuàries com terminals, portes d'embarcament, carrers de rodatge i pistes.

El següent pas és conèixer bé l'operativa de les pistes i concretament la funció de cada una d'elles, existeixen diverses configuracions de pistes per a l'aeroport LEBL: [59]

	Arribades (Arrivals)	Sortides (Departures)
WRL	25R	25L
ELR	07L	07R
ENR	02	07R
WLL	25L	25L
ERR	07R	07R
ENL	02	07L
WRR	25R	25R
ELL	07L	07L
ENN	02	02
WRS	25R	20

Taula 16. Configuracions de pistes de l'aeroport de Barcelona (LEBL)

De totes aquestes, les configuracions més utilitzades i en les que hem centraré són les següents:

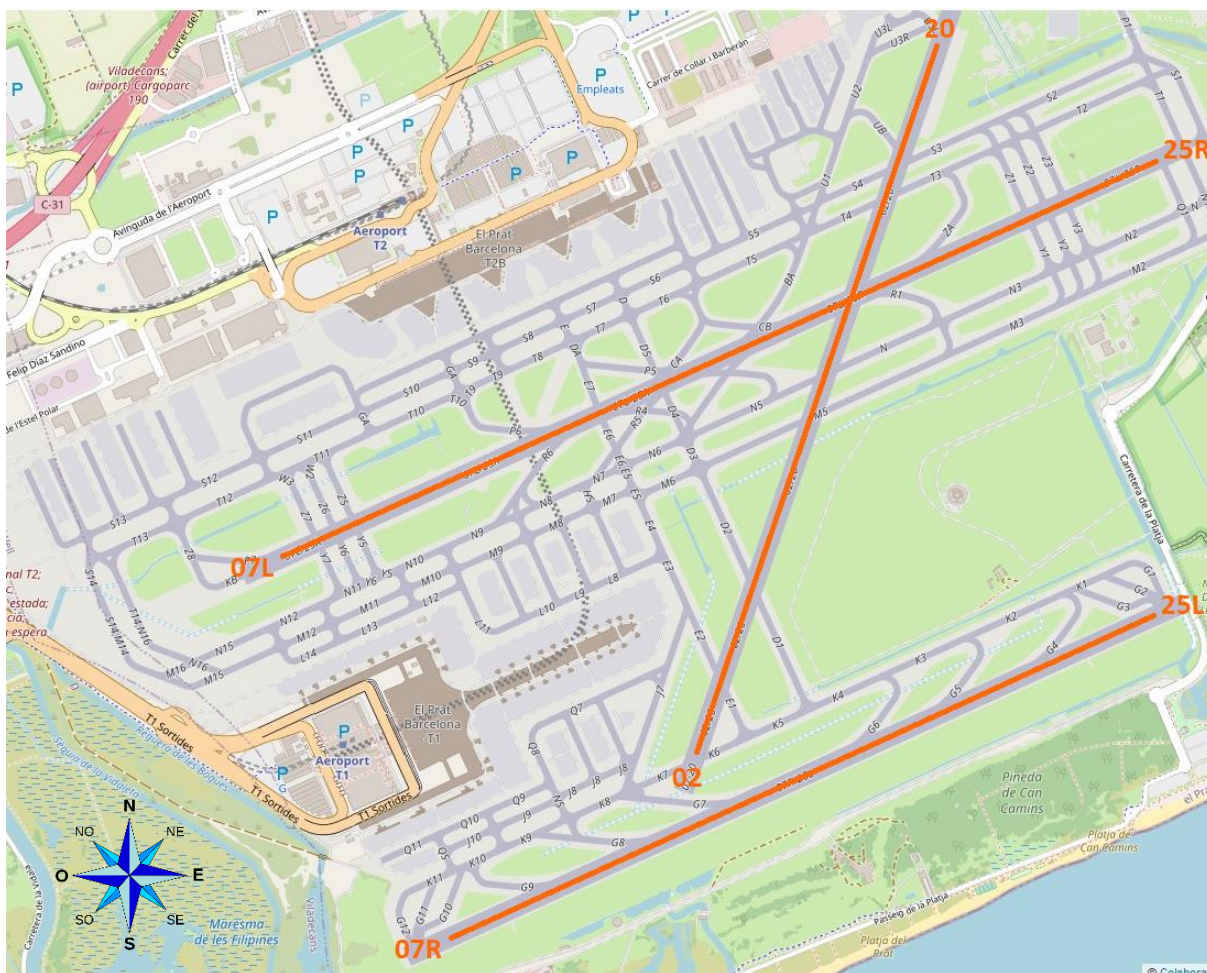
Configuración	Llegadas	Salidas
Periodo diurno (7-23h)		
Configuración oeste –pistas paralelas	Pista 25R	Pista 25R ⁽¹⁾ /25L
Configuración este – pistas paralelas	Pista 07L	Pista 07L ⁽²⁾ /07R
Periodo nocturno (23-7h)		
Configuración oeste	Pista 25L	Pista 25L
Configuración este	Pista 02 ⁽³⁾	Pista 07R

⁽¹⁾ El uso de la pista 25R queda restringido a aquellas aeronaves que puedan justificar que necesitan mayor longitud de pista que la disponible para la 25L, siendo obligatorio la realización de un procedimiento de salida en modo convencional.

⁽²⁾ El uso de la pista 07L para despegues queda restringido a aquellas aeronaves que puedan justificar que necesitan mayor longitud de pista que la disponible para la 07R o cuyo empenaje vertical supere los 16,46 m, siendo obligatorio la realización de un procedimiento de salida en modo convencional.

⁽³⁾ En el caso de no poder usar la pista 02 para llegadas, se utilizará la configuración oeste, y sólo en última instancia, se usará la configuración este con llegadas por la pista 07L.

Taula 17. Configuracions de pistes més utilitzades de l'aeroport de Barcelona (LEBL)



Imatge 60. Imatge aèria de l'aeroport de Barcelona i la seva distribució de pistes

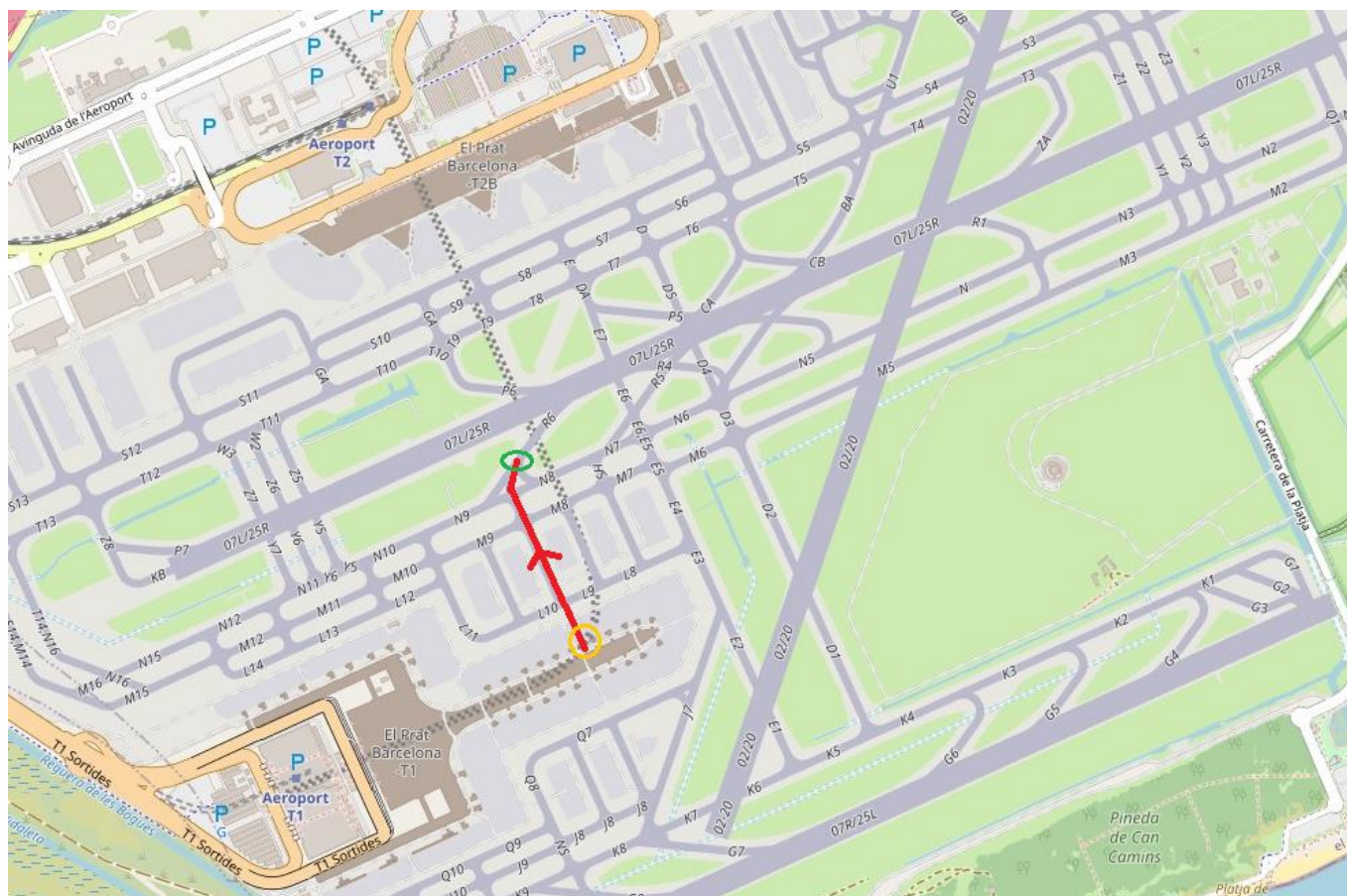
Un cop analitzat el funcionament de l'aeroport, la ubicació de les parts claus i saben que el 85% de totes les operacions es realitzen amb la configuració Oest, podem proposar una idea del possible projecte inicial d'implantació.

La configuració Oest ens diu que la 25R és la utilitzada per aterratges diürns. Per tant, la proposta d'implementació és la següent:

Des d'una de les sortides de la pista 25R per on surten els aterratges, (marcat en verd) es començarà amb la instal·lació dels rails i el pull-car, la infraestructura s'allargarà fins a uns 496 m aproximadament que és el camí marcat en vermell, corresponent als carrers de rodatge fins a la porta d'embarcament més propera.

Els rails s'acabaran en la marca groga. Hi ha la possibilitat d'afegir uns metres extres de rails en les zones de plataforma remota on es realitzen també embarcaments i desembarcament.

Aquest pla esta pensat com a prova pilot per veure el funcionament del sistema i la seva viabilitat en l'aeroport de Barcelona. En aquest cas només servirà per aeronaus que aterrin per la pista 25R i tinguin com a destí la Terminal 1.



Imatge 61. Imatge aèria de l'aeroport de Barcelona i la proposta d'implantació del sistema ATS

Els costos d'aquesta infraestructura que podem saber des d'un principi són:

- Longitud dels rails: $2800\text{€} / \text{m} \rightarrow 2.800\text{€} * 496\text{m} = 1.388.800\text{€}$ aproximats
- Pull-car o cotxe d'arrossegament $\rightarrow 70.000\text{€}$
- Total equipament $\rightarrow 1.388.800 + 70.000 = 1.458.800\text{€}$ aproximats

Aquests costos s'hi han d'afegir els corresponents als de mà d'obra per la instal·lació del sistema i els del corresponent manteniment.

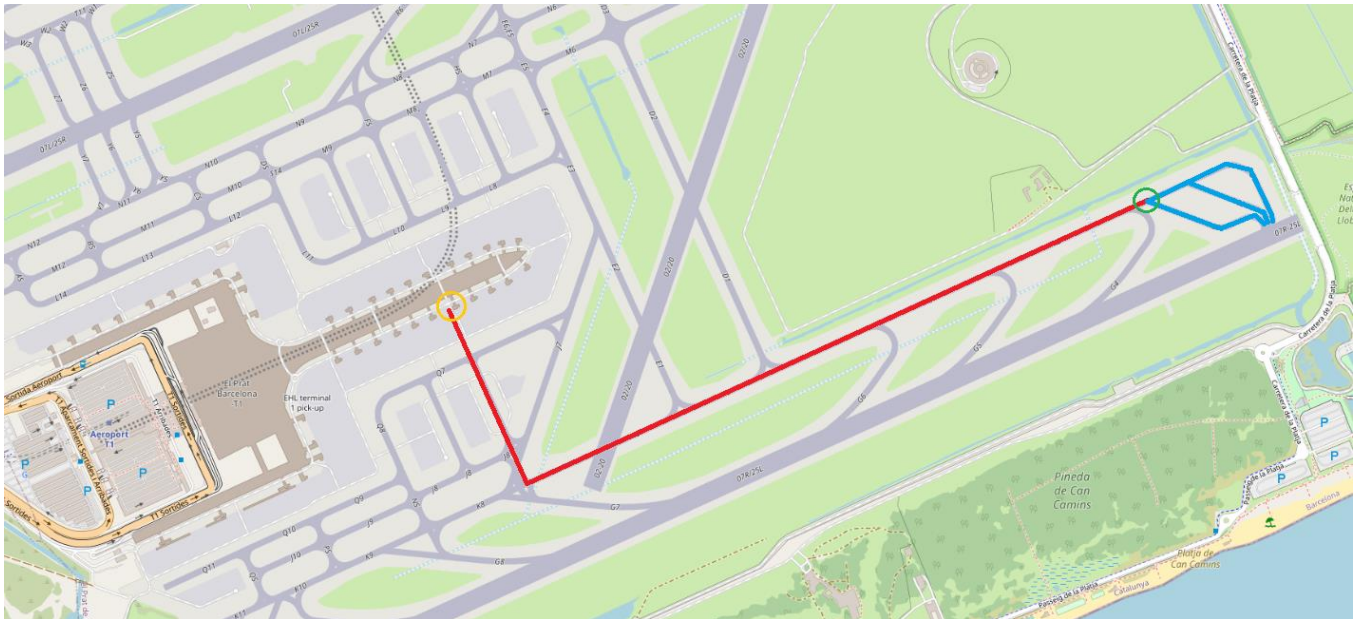
Si aquest sistema funcionés de manera correcta després d'un cert temps de prova raonable i es recuperés la inversió sense masses problemes, el següent pas podria ser destinat al dels enlairament:

En aquest cas estaríem parlant de prop dels 2.000 m o 2 km de rails d'instal·lació.

La part blava correspon a carrers de rodatge sense rails per deixar marge a l'aeronau a engegar motors per fer el *warm-up*_{G36} de 5 minuts i esperar el seu torn per enlairar.

Una bona idea pels inicis seria afegir algun tram extra per poder acoblar avions des de altres punts dels carrers de rodatge i no només des de la porta d'embarcament concreta marcada. Semblant en el cas dels aterratges en que es pot veure a la imatge la possibilitat d'afegir trams extres per portar aeronaus a altres punts de desembarcament com els remots.

En aquest cas de sota, seria molt útil això últim ja que la part més llarga del raïl (vermell) és utilitzada per a tots els avions que es dirigeixen cap a la pista 25L independentment des de quina terminal o zona d'embarcament provenguin.



Imatge 62. Imatge aèria de l'aeroport de Barcelona i la segona proposta d'implantació del sistema ATS

Un cop es comptés amb el sistema tant per enlairament com per aterratges es podria veure millor el funcionament d'aquest sistema amb la convivència de trams sense raïls. I augmentar lleugerament les taxes aeroportuàries per l'ús d'aquest sistema si es considerés necessari i factible.

4. Conclusions finals

Arribem al final del treball i és hora de fer unes conclusions per digerir tota la informació aquí exposada i extreure'n unes conclusions. Evidentment les conclusions són personals i es basen en el que jo he pogut percebre durant el procés d'elaboració d'aquesta memòria, les impressions que n'he extret i el que he volgut mostrar o fer veure amb tot aquest escrit. Qualsevol altre conclusió és lliure i pot ser vàlida per a cada lector.

Com a primera conclusió podem dir que queda clar que la tendència actual i dels pròxims anys no és la més optimista en termes de contaminació atmosfèrica. Concretament el transit aeri creix cada any de manera constant, amb totes les conseqüències que això comporta.

És preocupant que un sol país com és Estats Units ja representi un 18% de les emissions de CO₂ mundials pel que fa a vols de passatgers.

Una altre dada impactant que podem extreure és que l'aviació civil per si sola correspondria al sisè Estat del món amb més emissions de CO₂ (918 Milions de Tones).

Són moltes les millores tant tècniques, tecnològiques i metodològiques per intentar fer de l'aviació un transport el més eficient i net possible, però no sembla ser del tot suficient per frenar les prediccions degut al increment del volum de passatgers constant. Tot i això, hem de recordar que els avions actuals generen un 80% menys de CO₂ / per seient que els primers jets a reacció dels anys 1950.

L'ús de combustibles alternatius sembla no convèncer massa a les aerolínies pels alts costos que representen respecte al querosè tradicional, però sempre hi haurà aerolínies més o menys responsables amb el medi ambient.

Pel que fa a la electrificació de l'aviació encara es veu llunyana, com a mínim al nivell d'aeronaus comercials de gran capacitat. Estem en els primers passos en aquest nou món i s'ha de veure com evoluciona.

Organitzacions com la OACI s'han encarregat de posar a disposició de l'aviació gran quantitat de procediments de vol capaços de reduir consums i per tant contaminar menys. Malgrat això, sembla que caldria algun pas més al davant per part de les institucions per fer front d'una manera més prioritària al problema mediambiental. Veure'm si iniciatives com l'Agenda 2030 d'objectius sostenibles, CORSIA o com SESAR són capaces de portar resultats significatius per seguir empenyent en aquesta direcció.

El que està clar és que hi ha alguns punts o aspectes on és més senzill actuar que d'altres i que també ens poden portar grans resultats. Aquest és el cas dels processos de *taxiing*, ja que com sabem cada aeronau consumeix centenar o inclús tones de combustible diàriament pel sol fet de moure's pels carrers de rodatge de l'aeroport. Com hem vist hi ha pocs sistemes alternatius al *taxiing* tradicional que siguin viables i s'utilitzin a dia d'avui. Per això he presentat la idea d'una alternativa per fer del *taxiing* un procés lliure d'emissions i que a més permeti a les aerolínies estalviar en combustible, que recordem, és el principal cost per a una aerolínia. També als aeroports els permet reduir el personal necessari, tenir una millor gestió i convertir-se en aeroports més nets.

Aquí concloc el meu treball, confio i desitjo que hagi estat agradable i interessant per al lector. I recordar i animar que tots podem ajudar en aquesta cursa contra la contaminació i la preservació del medi ambient, simplement pel fet d'interessant-nos pels problemes reals i existents que afecten al planeta i dels quals en som principals responsables.

Agraïments:

Per acabar voldria expressar personalment el més sincer agraïment al meu tutor de treball, el professor Enrique Reguilón Oter. Pel gran suport, orientació i ajuda que m'ha brindat en tot moment durant el desenvolupament d'aquest interessant treball.

Moltes gràcies.

Glossari

G1 – IATA: Associació Internacional del Transport Aeri. Instrument de cooperació entre aerolínies promovent la seguretat, fiabilitat, confiança i economia del transport aeri.

G2 – OACI: Organització de l'Aviació Civil Internacional. Estudia els problemes de l'aviació civil internacional i promou els reglaments i normatives únics en l'aeronàutica mundial.

G3 – ICCT: Consell Internacional del Transport Net. Proveeix d'anàlisis tècnics i científics per als reguladors mediambientals.

G4 – Taxiing: És el procés de moviment de l'aeronau per la superfície de l'aeròdrom a través dels taxiways o carrers de rodatge. Ja sigui des de la zona d'embarcament fins a la pista com al inrevés.

G5 – IPCC: Panell Intergovernamental sobre el canvi climàtic. La seva missió és proveir al món d'una opinió objectiva, científica i experta sobre el canvi climàtic, els seus impactes i riscos, i les opcions de resposta possibles.

G6 – OAG: Guia oficial de rutes aèries o Airways. És el proveïdor global líder d'informació aeronàutica digital.

G7 – Turboprops: Turbohèlix. És un tipus de motor de turbina de gas que fa moure una hèlix.

G8 – EASA: Agència Europea de Seguretat Aèria. La seva funció és unificar els estàndards comuns de l'aeronavegabilitat en els Estats membres de la Unió Europea així com velar per la protecció del medi ambient en l'aviació civil.

G9 – EEA: Espai Econòmic Europeu.

G10 – EUROCONTROL: És el nom abreviat de la Organització Europea per la Seguretat de la navegació Aèria. El seu objectiu és l'harmonització i integració dels serveis de navegació aèria a Europa, per aconseguir més seguretat i eficiència en les operacions.

G11 – EU28: És l'abreviació que fa referència als 28 Estats membres de la Unió Europea.

G12 – EFTA: Associació Europea del Lliure Comerç. Es tracta d'una alternativa a la Comunitat Econòmica Europea. Està formada per Islàndia, Liechtenstein, Noruega i Suïssa.

G13 – MW: Mega watt = 1.000.000 W

G14 – Hub: Es tracta d'un aeroport que una aerolínia utilitza com a punt de transferència per cobrir els seus destins.

G15 – Stakeholders: Parts interessades. Ja sigui una persona, organització o empresa. Es pot definir com el membre d'un grup sense el suports dels quals l'organització deixaria d'existir

G16 – ATSU: Air Traffic Services Unit. Es tracta d'un sistema informàtic instal·lat en avions d'Airbus relacionat amb funcions de comunicació amb l'exterior.

G17 – ATS: Air Traffic Service. És un servei que regula i assisteix als avions en temps real per assegurar la seguretat en les operacions. Hi ha diferents nivells de ATS: àrea, aproximació i aeròdrom.

G18 – Manual of ATS Data Link Applications: Es tracta d'un document de la OACI que té com objectiu descriure els elements del Data Link basat en ATS i la seva aplicació a nivell mundial. Data Link simplement es defineix com el mitjà de connexió entre dos punts amb el propòsit de fer d'enllaç de dades en telecomunicacions.

- G19 – A-SMGCS:** Advanced Surface Movement Guidance and Control System. És un sistema que proporciona ruta, guia i seguretat per el control d'aeronaus i vigilància a nivell de superfície.
- G20 – ASDE-X:** Airport Surface Detection Equipment, Model X. És una eina de seguretat de pista que permet als controladors del trànsit aeri detectar potencials conflictes a nivell de superfície (runways i taxiways).
- G21 – 4DTRAD:** 4D Trajectory. Consisteix en l'ús de 3 dimensions espacials a més d'una quarta dimensió que correspon al temps. Un retràs es considera com a una distorsió de la trajectòria. La implementació d'aquest tipus de gestió està sent investigat per ser utilitzat en SESAR.
- G22 – Pushback:** És el procediment mitjançant el qual es remolca un avió des de la zona d'embarcament fins al taxiway o carrer de rodatge. S'efectua mitjançant un vehicle especialitzat.
- G23 – ADS-B:** Automatic Dependent Surveillance Broadcast. És un mitjà pel qual les aeronaus, el vehicles d'aeròdrom i altres objectes poden transmetre i/o rebre dades automàticament.
- G24 – Downwind leg:** Ruta de vol llarga i anivellada, paral·lela però en direcció oposada a la pista d'aterratge.
- G25 – Performance Based Navigation:** Navegació basada en requisits de rendiment per aeronaus que operen al llarg d'una ruta ATS, en un procediment de aproximació per instruments o en espai aeri designat.
- G26 – Ground Based Augmentation System:** Proporciona correccions diferencials i monitoratge de la integritat de les dades dels sistemes globals de satèl·lit de navegació (Global Navigation Satellite System).
- G27 – GNSS:** Global Navigation Satellite System. S'anomena al sistema mundial de determinació de posició, velocitat i temps, que inclou una o més constel·lacions de satèl·lits.
- G28 – VNAV:** Vertical Navigation. És la informació de trajectòria de planatge proporcionada durant una aproximació per instruments, independentment de les ajudes de navegació terrestres.
- G29 – SBAS:** Satellite Based Augmentation System. És un sistema de augment de senyal del sistema global de navegació per satèl·lit d'àrea ampla que utilitza una sèrie de satèl·lits geoestacionaris.
- G30 – KPI:** Key Performance Indicator. És un indicador clau de rendiment per mesurar el nivell de rendiment d'un procés concret.
- G31 – GFAAF:** Marc global per combustibles alternatius d'aviació. És una base de dades que proporciona una varietat d'informació relacionada amb els combustibles d'aviació, inclosos més de 600 anuncis de notícies des de 2005.
- G32 – Boeing 777:** És una aeronau comercial a reacció, bimotor, de llarg radi i fusellatge ample (2 passadissos).
- G33 – Flight Data Recorder:** Dispositiu utilitzat per enregistrar paràmetres específics de rendiment de l'aeronau procedents de multitud de sensors instal·lats.
- G34 – LTO cycle:** Cicle de *Landing and Take-off* (Enlairament i Aterratge). Inclou també les aproximacions i el *taxiing*.
- G35 – Slot:** o franja de temps, és una reserva de temps per realitzar una operació, com per exemple un aterratge. En aviació els *slots* són de 15 minuts. Si es perd el *slot* és perd la preferència.
- G36 – Warm-up:** Escalfament. En aviació les aeronaus requereixen d'un warm-up de 5 minuts abans de procedir amb l'enlairament. És a dir encendre els motors 5 minuts abans d'efectuar l'operació perquè els motor estiguin en òptimes condicions.

Referències bibliogràfiques

- [1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2019). *Global CO2 emissions by sector, 2017* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-by-sector-2017>
- [2] WIKIPEDIA (2020). Impacto ambiental de la aviación [en línia]. Disponible a Internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Impacto_ambiental_de_la_aviaci%C3%B3n
- [3] WIKIPEDIA (2020). Estela de condensación [en línia]. Disponible a Internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Estela_de_condensaci%C3%B3n
- [4] IATA (2020). *Climate Change* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.iata.org/en/policy/environment/climate-change/>
- [5] ICAO (2020). *Aircraft Engine Emissions* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/aircraft-engine-emissions.aspx>
- [6] ICCT (2020). *Aviation* [en línia]. Disponible a Internet: <https://theicct.org/aviation>
- [7] UNITED NATIONS (2019). *Irreversible Damage from Climate Change* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.un.org/press/en/2019/ga12131.doc.htm>
- [8] EMEP, EEA (2019). *Air pollutant emission inventory guidebook* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation/view>
- [9] WIKIPEDIA (2020). *Fuel economy in aircraft* [en línia]. Disponible a Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_aircraft
- [10] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US (2020). *Greenhouse Gas Emissions, 2018* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>
- [11] EUROPEAN UNION (2019). *Fossil CO2 and GHG emissions of all world, 2019 Report* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/fossil-co2-and-ghg-emissions-all-world-countries-0>
- [12] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). *Climate Change 2014* [Recurs electrònic]. Disponible Internet: <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- [13] OBSERVATORIO DE SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO (2020). Nuevos escenarios de emisión: RCPs, AR5 IPCC 2014 [en línia]. Disponible a Internet: http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/Nuevos_escenarios_emision_RCPs.htm
- [14] GLOBAL MONITORING LABORATORY (2020). *Trends in Atmospheric CO2* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html>
- [15] ICCT (2019). *CO2 emissions from commercial aviation, 2018* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018>
- [16] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (2019). *A40-WP/54, Global Environmental Trends – Present and Future aircraft emissions* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/environmental-trends.aspx>
- [17] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (2019). *2019 Environmental Report* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2019.aspx>

- [18] EEA, EASA, EUROCONTROL (2019). *European Aviation Environmental Report 2019* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.easa.europa.eu/eaer/downloads>
- [19] AIR TRANSPORT ACTION GROUP (2020). *Efficient Technology: Aviation* [en línia]. Disponible a Internet: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/efficient-technology/>
- [20] WIKIPEDIA (2020). *Aircraft engine* [en línia]. Disponible a Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_engine
- [21] AIRBUS (2011). *A320neo Family Information* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: https://web.archive.org/web/20111026223502/http://www.airbus.com/presscentre/hot-topics/a320neo/?elD=dam_frontend_push&docID=15788#
- [22] AIR TRANSPORT ACTION GROUP (2020). *Wingtip devices: Aviation* [en línia]. Disponible a Internet: <https://aviationbenefits.org/case-studies/wingtip-devices/>
- [23] AIRBUS (2007). *A350 XWB Family & Technologies* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://bit.ly/3fHVBwP>
- [24] BOEING (2020). *B787 Dreamliner* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.boeing.es/productos-y-servicios/commercial-airplanes/787.page>
- [25] AIR TRANSPORT ACTION GROUP (2020). *Sustainable aviation fuel* [en línia]. Disponible a Internet: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/sustainable-aviation-fuel/>
- [26] WIKIPEDIA (2020). *Eviation Alice* [en línia]. Disponible a Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/Eviation_Alice
- [27] KHALEEJ TIMES (2019). *ME's largest solar energy System at Dubai Airports* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.khaleejtimes.com/business/local/mes-largest-solar-energy-system-at-dubai-airports>
- [28] ICAO (2016). *Air Navigation Report. Capacity & Efficiency* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/airnavigation/Pages/Air-Navigation-Report.aspx>
- [29] CANSO (2013). *Introduction to the ASBU Modules* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.canso.org/introduction-aviation-system-block-upgrade-asbu-modules>
- [30] ICAO (2020). *All ASBU Modules* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Lists/ASBU%20Modules/AllItems.aspx>
- [31] ICAO. *Continuous Climb Operations (CCO) Manual* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://bit.ly/3130I6W>
- [32] SCIENCE DAILY (2020). *Small altitude changes could cut climate impact of aircraft by up to 59%* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/02/200212121959.htm>
- [33] ICAO (2010). *Continuous Descent Operations (CDO) Manual* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://bit.ly/2NfjMXp>
- [34] ICAO (2019). *GANP Portal* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www4.icao.int/ganpportal/>
- [35] ICAO (2020). *Global Framework for Aviation Alternative Fuels, GFAAF* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/default.aspx>
- [36] ICAO (2017). *CAAF/2-WP/13, Conference on Aviation and Alternative Fuels* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/Meetings/CAAF2/Pages/Documentation.aspx>
- [37] ICAO (2020). *Sustainable Aviation Fuels Guide* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>

- [38] ICAO (2017). *What is CORSIA and how does it work?* [en línia]. Disponible a Internet: https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/A39_CORSIA_FAQ2.aspx
- [39] ICAO (2019). *CORSIA, Implementation Plan* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-communication.aspx>
- [40] ICAO (2020). *Electric and Hybrid Aircraft Platform for Innovation (E-HAPI)* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/electric-aircraft.aspx>
- [41] SESAR, EU, EUROCONTROL (2020). *European ATM Master Plan* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.atmmasterplan.eu/>
- [42] EUROPEAN COMMISSION (2015). *EU Emissions Trading System (EU ETS)* [en línia]. Disponible a Internet: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en
- [43] EUROPEAN COMMISSION (2015). *EU Emissions Trading System (EU ETS) handbook* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en
- [44] AIRBUS (2020). *E-Fan X* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.airbus.com/innovation/future-technology/electric-flight/e-fan-x.html>
- [45] AIRBUS (2020). *CityAirbus* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.airbus.com/innovation/urban-air-mobility/vehicle-demonstrators/cityairbus.html>
- [46] IATA (2016). *IATA Environment, Making the World A better place to live*. [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://bit.ly/2YXDY5q>
- [47] CAMBRIDGE, USA (2014). *Analysis of Aircraft Fuel Burn and Emissions in LTO cycle, ICRAT 2014* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://bit.ly/313UtQa>
- [48] STUFF (2018). *How much fuel do aircraft burn when they taxi?* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.stuff.co.nz/travel/news/101386265/how-much-fuel-do-aircraft-burn-when-they-taxi>
- [49] IATA (2019). *Taxi-in times summer 2019* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.eurocontrol.int/publication/taxi-times-summer-2019>
- [50] IATA (2019). *Taxi-out times summer 2019* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.eurocontrol.int/publication/taxi-times-summer-2019>
- [51] EASA (2018). *Additional taxi-out time at the top 30 busiest airports* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.easa.europa.eu/eaer/figures-tables/additional-taxi-out-time-top-30-busiest-airports>
- [52] NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2016). *Deriving Benefits from Alternative Aircraft-Taxi Systems* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://bit.ly/37M6Phi>
- [53] ICAO (2020). *Effects of COVID-19 on Civil Aviation: Economic Impact Analysis, 15th June 2020* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx>
- [54] BBC (2020). *Climate change and coronavirus, Global CO2 emissions* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.bbc.com/news/science-environment-52485712>
- [55] EL DIARIO MONTAÑÉS (2020). *El coronavirus, un punto de no retorno* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.eldiariomontanes.es/sociedad/salud/coronavirus-punto-retorno-20200520094632-ntrc.html>
- [56] THE GUARDIAN (2020). *Is the COVID-19 crisis the catalyst for greening the world's airlines?* [en línia]. Disponible a Internet: <https://www.theguardian.com/world/2020/may/17/is-covid-19-crisis-the-catalyst-for-the-greening-of-worlds-airlines>

[57] ATS WORLD WIDE LLC (2017). *ATS, Aircraft Towing System* [en línia]. Disponible a Internet: <http://www.at-system.eu/system.html>

[58] OAG (2020). *On-time performance airlines* [Recurs electrònic]. Disponible a Internet (mitjançant correu electrònic): <https://www.oag.com/february-2020-airlines-on-time-performance>

[59] ENAIRE. Manual operativo de la torre de control del aeropuerto de Barcelona-El Prat [Recurs privat].

[60] AENA, MINISTERIO DE FOMENTO. Aeropuerto de Barcelona, Programas de control del ruido ejecutados (Cap. 3.2 Pistas preferentes) [Recurs electrònic]. Disponible a Internet: <https://bit.ly/2YiVMJ5>

Llistat de figures

Taules:

Taula 1. Distribució de les emissions CO2 per país o grup d'Estats

Taula 2. Escenaris RCP sobre emissions CO2

Taula 3. Distribució de les emissions CO2 per tipus d'aeronau

Taula 4. Distribució de les emissions CO2 per grups de rutes aèries

Taula 5. Consum + Emissions contaminants procedents de l'aviació comercial de EU28+EFTA

Taula 6. Recull de mòduls del ASBU (Block 0) que aporten estalvis en termes de consum de combustible aeronàutic

Taula 7. Aeroports que donen suport al subministrament de combustible alternatiu i aerolínies que se'n beneficien

Taula 8. Objectius a curt-mitjà termini + Visió de la OACI 2050 pel que fa a l'ús de combustibles sostenibles

Taula 9. Projectes existents referents a la construcció de vehicles aeris elèctrics o híbrids

Taula 10. Ambicions de rendiment d'un futur Single European Sky (2035)

Taula 11. Fases d'implantació del programa SESAR més detallades

Taula 12. Dades per defecte per cada operació del cicle LTO (OACI)

Taula 13. Temps taxi-out d'alguns aeroports per el període d'estiu 2019 (EUROCONTROL)

Taula 14. TOP10 d'aerolínies més puntuals del mes de Febrer 2020

Taula 15. Ranking d'aerolínies més puntuals del mes de Febrer 2020 ordenades per N° de vols

Taula 16. Configuracions de pistes de l'aeroport de Barcelona (LEBL)

Taula 17. Configuracions de pistes més utilitzades de l'aeroport de Barcelona (LEBL)

Gràfics:

Gràfic 1. Evolució de les emissions de CO2 per sectors en Gigatonnes (Gt)

Gràfic 2. Evolució de les emissions de CO2 per països en Gigatonnes (Gt)

Gràfic 3. Predicció futura de les emissions de CO2 segons escenari en Gigatonnes (Gt)

Gràfic 4. Distribució de les emissions CO2 en el sector aeri comercial (2018)

Gràfic 5. Predicció futura sobre consum de combustible aeronàutic internacional en Megatonnes (Mt)

Gràfic 6. Predicció futura sobre consum de combustible aeronàutic internacional en Megatonnes (Mt) (2)

Gràfic 7. Predicció futura sobre emissions CO2 segons escenaris en Megatonnes (Mt)

Gràfic 8. Predicció futura sobre emissions NOx en Megatonnes (Mt)

Gràfic 9. Predicció futura sobre nombre de vols des d'aeroports de EU28+EFTA

Gràfic 10. Distribució de vols segons tipus d'aerolínia

Gràfic 11. Predicció futura sobre emissions CO2 de vols procedents de EU28+EFTA en Megatones (Mt)

Gràfic 12. Predicció futura sobre emissions NOx de vols procedents de EU28+EFTA en Milers de tones

Gràfic 13. Proporció dels materials utilitzats en la construcció d'una aeronau del tipus Airbus A350

Gràfic 14. Proporció i Evolució dels materials utilitzats en la construcció de diferents aeronaus Boeing

Gràfic 15. Distribució d'indicadors clau (KPIs) i d'àrea (KPAs) segons el tipus d'objectius

Gràfic 16. Predicció futura sobre la contribució de cada una de les mesures per reduir les emissions de CO2

Gràfic 17. Temps emprat segons model d'aeronau per cada operació del cicle LTO comparat amb les dades de la OACI

Gràfic 18. Combustible consumit (Kg) segons el model d'aeronau per cada operació del cicle LTO comparat amb les dades de la OACI

Gràfic 19. Evolució de l'excés d'emissions CO2 per fase de vol en Kg

Gràfic 20. Evolució de temps de taxi-out addicionals per aeroports en minuts

Gràfic 21. Evolució del nombre de passatgers transportats en el sector aeri en els últims 75 anys en milions

Gràfic 22. Evolució i predicció futura del nombre de seients oferts a nivell internacional i domèstic en el 2020 segons l'escenari

Gràfic 23. Evolució i predicció futura del nombre de passatgers internacionals i domèstics transportats en el 2020 segons l'escenari

Gràfic 24. Evolució i predicció futura dels ingressos del sector aeri en el 2020 segons l'escenari en milions de dòlar USD

Gràfic 25. Evolució i predicció futura de les emissions CO2 globals dels últims 120 anys en milers de milions de tones

Gràfic 26. Evolució de les emissions CO2 globals diàries per sectors en els últims 5 mesos en canvis de percentatge %

Imatges:

Imatge 1. Aeronau en vol produint una estela de condensació

Imatge 2 i 3. Cues en el taxiing d'un aeroport

Imatge 4. Emissions procedents d'un turbofan bimotor habitual durant 1h de vol

Imatge 5. Cessna Turbo Stationair HD

Imatge 6. ATR 72-600

Imatge 7. Bell 407

Imatge 8. Boeing 727

Imatge 9. Airbus A320

Imatge 10. Aeronau model Bombardier Q400

Imatge 11. Dibuix representatiu del funcionament dels dispositius wingtips o punta alar

Imatge 12. Aeronau B787 sent proveït de combustible sostenible alternatiu

Imatge 13. Aeronau "Alice" exhibida en el Saló Internacional de l'Aeronàutica i L'Espai de París (2019)

Imatge 14. Model 3D de l'aeronau "Alice"

Imatge 15. Panells solars instal·lats en la Terminal 2 de l'aeroport internacional de Dubai

Imatge 16 i 17. Dates previstes d'implementació dels diferents Blocks i PIAs

Imatge 18. Mòduls detallats de cada Block i PIA

Imatge 19. Representació gràfica del funcionament de la CCO Bàsica

Imatge 20. Representació gràfica del funcionament de la CCO Millorada

Imatge 21. Representació gràfica d'un exemple de funcionament de l'operació Free Route

Imatge 22. Estat de la implementació del Free Route Airspace a finals del 2019 (EUROCONTROL)

Imatge 23. Estat previst de la implementació del Free Route Airspace a finals del 2024 (EUROCONTROL)

Imatge 24. Representació gràfica del funcionament de la CDO amb disseny de camí tancat

Imatge 25. Representació gràfica del funcionament de la CDO amb disseny de camí obert i procediment vectoritzat

Imatge 26. Representació gràfica del funcionament de la CDO amb disseny de camí obert i procediment downwind

Imatge 27. Objectius de desenvolupament sostenible de les Nacions Unides (Agenda 2030)

Imatge 28. Estructura per nivells del GANP

Imatge 29. Nivell 1 del GANP

Imatge 30. Nivell 2 del GANP

Imatge 31. Nivell 3 del GANP

Imatge 32. Nivell 4 del GANP

Imatge 33. Dates previstes d'implementació dels diferents Blocks i PIAs

Imatge 34. Dates previstes d'implementació dels diferents ASBU elements relacionats amb sistemes de navegació (NAVS) (2)

Imatge 35. Captura de pantalla del rastrejador de vols en temps real d'aeronaus operades mitjançant combustibles sostenibles

Imatge 36. Portada de la guia sobre combustibles sostenibles en l'aviació (OACI)

Imatge 37. Càlcul dels requisits de compensació de CO₂ pel programa CORSIA (OACI)

Imatge 38. Fases d'implantació del programa CORSIA per dates

Imatge 39. Model 3D del vehicle prototip tipus eVTOL "Uber Elevate"

Imatge 40. Model 3D d'un Skyport o estació de taxis aeris

Imatge 41. Model 3D de l'aeronau elèctrica "Wright 1"

Imatge 42. Model 3D de l'aeronau híbrida "Sugar Volt"

Imatge 43. Model 3D de l'aeronau híbrida "ZA10"

Imatge 44. Evolució del cel aeri Europeu, objectius del Single European Sky

Imatge 45. Road-map d'implantació en 4 fases del programa SESAR fins al 2040

Imatge 46. Fases d'implantació del EU ETS

Imatge 47. Model 3D del Airbus "E-Fan X"

Imatge 48. Model 3D del eVTOL "City Airbus"

Imatge 49. Dades de consum d'un Boeing 777

Imatge 50. Alternatives existents al procés de taxiing tradicional

Imatge 51. Logotip del sistema Taxibot

Imatge 52. Aeronau de Lufthansa utilitzant el vehicle Taxibot

Imatge 53. Roda davantera d'una aeronau amb el sistema de WheelTug o Nose Wheel Electric Motor instal·lat

Imatge 54. Roda posterior d'una aeronau amb el sistema de Main Wheel Electric

Imatge 55. Dades de diferents institucions sobre els efectes i conseqüències de la pandèmia del COVID-19

Imatge 56. Model 3D del funcionament del sistema de taxiing ATS

Imatge 57. Model 3D del funcionament del sistema de taxiing ATS (2)

Imatge 58. Model 3D del funcionament del sistema de taxiing ATS (3)

Imatge 59. Portada del document de la Punctuality League de OAG (Febrer 2020)

Imatge 60. Imatge aèria de l'aeroport de Barcelona i la seva distribució de pistes

Imatge 61. Imatge aèria de l'aeroport de Barcelona i la proposta d'implantació del sistema ATS

Imatge 62. Imatge aèria de l'aeroport de Barcelona i la segona proposta d'implantació del sistema ATS

Autor de la memòria:

GUILLEM BATALLA RUBIO

(insertar signatura electrònica)